

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

«На правах рукопису»
УДК 621.311.153

«До захисту допущено»
Науковий керівник кафедри
_____ С.П. Денисюк
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціалізації Енергетичний менеджмент та енергоефективність

на тему: «Управління електричним навантаженням виробничого об'єкту з
використанням власної генерації електроенергії»

Виконав (-ла):

студент (-ка) VI курсу, групи ОН-62М
Мірошніченко Єгор Вадимович

Керівник:

к.т.н., доц. Калінчик В.П.

Консультант з нормоконтролю:

ас. Прокопенко І.Д.

Рецензент:

д.т.н., проф.. Шевчук С.П.

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та енергоефективність»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Науковий керівник кафедри

_____ С.П. Денисюк

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Мірошниченко Єгор Вадимович

1. Тема дисертації «Управління електричним навантаженням виробничого об'єкту з використанням власної генерації електроенергії»
науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Калінчик В.П.

затверджені наказом по університету від «20» березня 2018 р. №971-с

2. Термін подання студентом дисертації «18» травня 2018 року

3. Об'єкт дослідження процес керування електричним навантаженням об'єктів енерговикористання.

4. Вихідні дані перелік споживачів та режими роботи підрозділів підприємства, споживання електричної енергії в різні режимні дні підприємством, методичні вказівки, перелік завдань від наукового керівника

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) аналіз існуючих методів оптимізації режимів електроспоживання підприємств з метою зниження сумарних витрат підприємства при збереженні плану випуску продукції при обмеженні по технологічно допустимому рівні зниження споживаної електроенергії ; 2) аналіз застосування та можливості удосконалення існуючих методів оптимізації режимів електроспоживання на існуючому виробничому об'єкті з врахуванням власної генерації електроенергії; 3) розробка алгоритмів та програмних

засобів для побудови математичної моделі при побудові систем керуванням електричним навантаженням на виробничих бє'ктах.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Графіки електричних навантажень, блок-схеми, узгоджені графіки споживання та генерації електричної енергії, Результати оптимізаційних задач нелінійного програмування

7. Орієнтовний перелік публікацій – 1) Калінчик В.П., Пономаренко В., Мирошніченко Є., Дослідження впливу графіка електричного навантаження галузі машинобудування та металообробки на графік ОЕС України / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції ««Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2017. – (Київ, 30 листопада 2017.) - С.191-198. – 2) Калінчик В.П., Пономаренко В., Мирошніченко Є., Аданіков О., Оптимізація витрат потужності в комплексній енергосистемі скляного виробництва / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції ««Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2018. – (Київ, 31 березня 2018.) - С.151-154 3) В.П.Калінчик, Є.В.Мірошніченко, В.О.Пономаренко. Дослідження оптимального розподілу навантаження на ділянці споживача/ Збірник наукових праць конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (26-27 КВІТНЯ 2018) – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2018.- С. 4) В.П.Калінчик, В.О.Пономаренко, Є.В.Мірошніченко. Використання кластеризації для дослідження впливу галузей на графік навантаження ОЕС України/ Збірник наукових праць конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (26-27 КВІТНЯ 2018) – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2018.- С.

8. Консультанти розділів дисертації: перший розділ – к.т.н., доц. Калінчик В.П., третій розділ - к.т.н., доц. Калінчик В.П., аспірант Аданіков О.В. (програмування, робота з Jupyter Notebook), четвертий розділ - к.т.н., доц. Калінчик В.П.

Нормаконтроль

ас. Прокопенко І.Д.

9. Дата видачі завдання 12 березня 2018 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання	15.11.1017	Вик
2	Аналіз літературних джерел	17.12.2017	Вик
3	Складання плану роботи	23.12.2017	Вик
4	Робота над першим розділом	09.01.2018	Вик
5	Робота над другим розділом	19.03.2018	Вик
6	Робота над третім розділом	12.04.2018	Вик
7	Робота над четвертим розділом	28.04.2018	Вик
8	Оформлення ПЗ, нормо контроль, попередній захист	03.05.2018	Вик

Студент

(підпис)

Мірошниченко Є.В.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Калінчик В.П.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи: дисертація викладена на 107 сторінках, складається зі вступу, 4 розділів, висновку, уміщує 34 рисунків, 33 таблиці, 57 формул, список використаних джерел із 50 найменувань на 5 сторінках.

Актуальність теми. В умовах недостатності паливно-енергетичних ресурсів та постійного зростання тарифів на електроенергію важливою є задача керування електричним навантаженням. Нераціональне використання електроенергії призводить до зменшення економічної ефективності промислових об'єктів та погіршення функціональності елементів постачаючої мережі. В свою чергу, це сприяє нерівномірності графіка електричних навантажень енергосистеми України, внаслідок чого енергосистема вимушена використовувати маневрові джерела генерації електроенергії для покриття пікових навантажень. Слід зазначити, що в Україні останні роки енергосистема має графік навантаження з двома явними піками навантаження – ранкового та вечірнього. В ці періоди проблема покриття електричного навантаження набуває максимальної пріоритетності, так як при відхиленні рівня генерованого навантаження від миттєвого попиту, в енергосистемі змінюється частотиструму та розрахунковий рівень напруги при заданому режимі функціонування. Це в свою чергу може призвести до відключення споживача, відмови генеруючого, постачаючого та розподілюючого обладнання, або до зниження його експлуатаційної надійності. Робота енергосистеми при більш рівномірному графіку електричних навантажень в будь-якому інтервалі часу забезпечує суттєву економію паливно-енергетичних ресурсів на генеруючих джерелах. Також в довгостроковій перспективі вирівнювання графіку електричних навантажень генеруючий частині енергосистеми використовувати потужності меншої величини, що

призводить до економії капітальних витрат на їх установку. Також слід зазначити, що сучасні промислові підприємства характеризуються значним зростом навантаження за рахунок будівництва джерел розподіленої генерації. Така тенденція спричинена зручністю джерел розподіленої генерації, а саме: порівняно невеликим терміном введення в експлуатацію, малими габаритами, можливістю роботи на вторинних ресурсах. Тому виникає питання планування оптимальних експлуатаційних режимів таких установок та їх узгодження з існуючими системами електропостачання.

Тому важливою задачею енергосистеми є зацікавлення споживача сприяти вирівнюванню графіку електричного навантаження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Виконані в роботі дослідження відповідають напряму «Енергетика та енергоефективність» Закону України № 2519-VI від 09.09.2010 р. «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», стратегічним пріоритетним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2003-2013 роки «Новітні ресурсозберігаючі технології» Закону України № 433-IV від 16.01.2003 р. «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», Комплексній програмі НТУУ «КПІ» «Енергетика сталого розвитку» і направленості тематики кафедри електропостачання НТУУ «КПІ».

Метою магістерської дисертації є підвищення ефективності енерговикористання «активного» споживача керуванням навантаження на основі балансу власного попиту.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені такі завдання:

- 1) _аналіз існуючих методів оптимізації режимів електроспоживання підприємств з метою зниження сумарних витрат підприємства при збереженні плану випуску продукції при обмеженні по технологічно допустимому рівні зниження споживаної електроенергії ;

2) аналіз застосування та можливості удосконалення існуючих методів оптимізації режимів електроспоживання на існуючому виробничому об'єкті з врахуванням власної генерації електроенергії;

3) розробка алгоритмів та програмних засобів для побудови математичної моделі при побудові систем керування електричним навантаженням на виробничих об'єктах.

Об'єктом дослідження є процес керування електричним навантаженням об'єктів енерговикористання.

Предметом дослідження є методи та способи контролю електроспоживання промислових підприємств в умовах наявності власної генерації.

В дослідженні були використані такі програмні продукти як: Microsoft Word, Microsoft Excel (внутрішні програмні функції та патек «аналіз даних»), Statistica, мова програмування Python 3.6.1, Jupyter Notebook, модулі Pandas, SciPy, Matplotlib, TensorFlow, Mathcad.

Методи дослідження. Методичною основою дисертаційного дослідження є комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, використовуваних для:

1) побудування та прогнозування графіків електричного навантаження – методи математичного моделювання, методи теорії ймовірності та математичної статистики, методи авторегресії;

2) визначення цільової функції для розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації – методи експертного опитування, методи економіко-математичного моделювання, апарат нечіткої математики, методи оптимального програмування, методи математичної статистики, економіко-математичного моделювання та встановлення довірчих інтервалів до відповідних моделей;

3) розв'язок багатокритеріальної оптимізаційної задачі – методи лінійного та нелінійного програмування, нейронні мережі та математичні моделі засновані на теорії нечіткої логіки;

4) методи узагальнення та логічного підходу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1) удосконалено процедуру контролю керуванням електричним навантаженням виробничими об'єктами, а саме: проведено аналіз методів мінімізації плати за електропостачанні при наявності джерел розподіленої генерації, визначенно можливі чинники цільової функції багатокритеріальної оптимізації

2) удосконалено алгоритм вирішення задачі планування споживання та власної генерації електроенергії наперед з можливістю оперативного перепланування, а саме: досліджено вплив додаткових чинників (надійність обладнання) на процес багатокритеріальної оптимізації; досліджено залежність результатів економічної оптимізації від перерозподілу режимів роботи підприємства

3) розроблено математичні моделі керуванням для типів підприємств, розглянутих в дисертації. Розроблено алгоритм та програмні засоби для вирішення задачі мінімізації втрат потужності та багатокритеріальної оптимізації потужності для підприємств з розподіленою генерацією

4) визначені основні напрямки та шляхи удосконалення існуючих систем керування електричної потужності промисловими підприємствами

Практичне значення роботи. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення діючої в Україні системи контролю ефективності використання електричної енергії та забезпечити реалізацію одного з можливих напрямів її подальшого розвитку. Використання програмних засобів, що розробляються у магістерській дисертації, дозволить практично застосовувати деякі системи моніторингу рівня ефективності використання електричної енергії на виробничих об'єктах.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської дисертації були оприлюдненні:

- Калінчик В.П., Пономаренко В., Мирошніченко Є., Дослідження впливу графіка електричного навантаження галузі машинобудування та металообробки на графік ОЕС України / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції ««Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2017. – (Київ, 30 листопада 2017.) - С.191-198.

- Калінчик В.П., Пономаренко В., Мирошніченко Є., Аданіков О., Оптимізація витрат потужності в комплексній енергосистемі скляного виробництва / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції ««Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2018. – (Київ, 31 березня 2018.) - С.151-154

- Калінчик В.П., Мирошніченко Є., Дослідження оптимального розподілу навантаження на ділянці споживача / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції ««Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2018. – (Київ, 31 березня 2018.) - С.151-154

Публікації. За результатами наукових досліджень було опубліковано:

- Калінчик В.П., Пономаренко В., Мирошніченко Є., Дослідження впливу графіка електричного навантаження галузі машинобудування та металообробки на графік ОЕС України / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції ««Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2017. – (Київ, 30 листопада 2017.) - С.191-198.

- Калінчик В.П., Пономаренко В., Мирошніченко Є., Аданіков О., Оптимізація витрат потужності в комплексній енергосистемі скляного виробництва / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції ««Проблеми та перспективи розвитку науки на початку

третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2018. – (Київ, 31 березня 2018.) - С.151-154

- Калінчик В.П, Мирошниченко Є., Дослідження оптимального розподілу навантаження на ділянці споживача / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції ««Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2018. – (Київ, 31 березня 2018.) - С.151-154

Ключові слова: контроль та розподіл навантаження, графік електричного навантаження, лінійне програмування, змішана багатокритеріальна оптимізація, чинники, що впливають на оптимізацію навантаження, математична модель, цільова функція, контроль результатів.

ABSTRACT

Structure and scope of work: 107 pages, consists of introduction, 4 chapters, conclusion, contains 34 figures, 33 tables, 57 formulae, a bibliography of 50 items in 5 pages..

Relevance of the work. In the conditions of insufficiency of energy resources and the constant growth of electricity tariffs is important to the task of managing the electrical load. Inefficient use of electricity leads to reduction of economic effectiveness of industrial facilities and the deterioration of the functionality of the elements of the network. In turn, this contributes to the non-uniformity of the electric load diagram of power system of Ukraine, causing the power system is forced to use the shunting sources of electricity generation to cover peak loads. It should be noted that in Ukraine the last years the power system has a load graph with two explicit peaks of the load – morning and evening. During these periods, the problem of managing the electrical load gets maximum priority, since the deviation of the level generated from short-term load demand in a power system varies significantly and the estimated voltage level at a given mode of operation. This in turn can lead to the shutdown of the consumer, denial of generating, transmission and distribution equipment, or reduce its operational reliability. Operation of the power system when the presence of a uniform chart of electrical load in any time interval provides significant savings of fuel and energy resources for generating sources. Also in the long term, graph level electrical loads generating part of the grid to use the power of lesser magnitude, which leads to a saving of capital costs to install them. It should also be noted that modern industrial plants are characterized by a significant increase in load through the construction of sources of distributed generation. This trend is due to the convenience of the sources of distributed generation, namely: a relatively small period of putting into operation, small dimensions, possibility to work from secondary resources. So the question is

the planning of the optimal operating conditions of such facilities and their harmonization with existing power systems.

Therefore, an important task of the power system is the interest of the consumer to facilitate the alignment of the electric loading graph.

Communication with academic programs, plans, themes. Made in the study correspond to the area of "Energy and energy efficiency" law of Ukraine No. 2519-VI of 09.09.2010, "About priority directions of development of science and technology", strategic priority directions of innovative activity in Ukraine for 2003-2013 "Modern resource-saving technologies" of the law of Ukraine № 433-IV of 16.01.2003 "On priority directions of innovation activity in Ukraine", a Comprehensive program of NTUU "KPI" "Energy for sustainable development" and focus the topic of Department of mathematics, NTUU "KPI".

The purpose of the work is to increase the efficiency of the "active" control user-based load balancing its own demand.

To achieve this goal, the study addressed the following objectives:

1) analysis of existing methods of optimization of energy consumption at enterprises with the aim of reducing total costs while maintaining the production plan in the limit technologically acceptable level to reduce the consumption of electricity ;

2) analysis of application and possibility of improving existing methods of optimization of energy consumption in the existing production Ob kit with the self-generation of electricity;

3) development of algorithms and software tools for building mathematical models when building control systems electrical load on the production or ctah.

The object of research process control electrical loads of facilities energy use.

The subjects of research there is a method and STD control input power promising ventures in EM the vest their own generation.

In the study of victorian bully **program product** such as Microsoft Word, Microsoft Excel(program internal functions and PAT "analysis"), statistica, mA Gran Python 3.6.1, laptop Jupyter module pandas, compound, libraries, matplotlib, TensorFlow, Mathcad.

Methods of research. Methodological basis of the dissertation research is the complex of General scientific and special methods to be used for:

1) construction and forecasting of electric power load graphs – methods of mathematical modeling, methods of probability theory and mathematical statistics, methods of autoregression.

2) definition of the objective function for solving the problem of multicriteria optimization, methods of the expert survey, methods of economic-mathematical modeling, fuzzy mathematics, methods of optimal programming, mathematical statistics, mathematical modelling and the determination of confidence intervals of the respective models;

3) the solution of multicriteria optimization problems methods of linear and nonlinear programming, neural networks, and mathematical models based on the theory of fuzzy logic;

4) methods of generalization and logical approach.

The scientific novelty of the results is as follows:

1) improved control procedures control of electric loads by production facilities. Improved algorithm for solving the problem of planning consumption and generic electricity in advance to reschedule.

2) basic directions and ways of improving the existing control systems of electric power and industrial enterprise

The practical value of the result The obtained results can be used to improve the existing in Ukraine system of control over the effective use of electric energy and to provide the implementation of one of the possible directions of its further development. The use of the software developed in the master thesis, will allow us to apply some system of monitoring the level of efficiency of electric energy production facilities.

Approbation of the work. The results of the master thesis was published:

- Kalinchik V, Ponomarenko V., Miroshnichenko E., a study of the influence of the electric loading graph of mechanical engineering and Metalworking industries at the graph of IPS of Ukraine / Collection of materials of reports of scientific-technical conference ""Problems and prospects of science development in the beginning of the third Millennium in Europe and Asia" by 2017. – (Kiev, November 30, 2017.) - S. 191-198.

- Kalinchik V, Ponomarenko V., Miroshnichenko E., Adancul A., Optimization of cost of power in the integrated power system of glass production / Collection of materials of reports of scientific-technical conference ""Problems and prospects of science development in the beginning of the third Millennium in Europe and Asia", 2018. – (Kyiv, March 31, 2018.) - P. 151-154

- Kalinchik, Miroshnichenko, Investigation of the optimal load distribution on the site user / Collection of materials of reports of scientific-technical conference ""Problems and prospects of science development in the beginning of the third Millennium in Europe and Asia", 2018. – (Kyiv, March 31, 2018.) - P. 151-154

Publications. According to the research results were published:

- Kalinchik V, Ponomarenko V., Miroshnichenko E., a study of the influence of the electric loading graph of mechanical engineering and Metalworking industries at the graph of IPS of Ukraine / Collection of materials of reports of scientific-technical conference ""Problems and prospects of science development in the beginning of the third Millennium in Europe and Asia" by 2017. – (Kiev, November 30, 2017.) - S. 191-198.

- Kalinchik V, Ponomarenko V., Miroshnichenko E., Adancul A., Optimization of cost of power in the integrated power system of glass production / Collection of materials of reports of scientific-technical conference ""Problems and prospects of science development in the beginning

of the third Millennium in Europe and Asia", 2018. – (Kyiv, March 31, 2018.) - P. 151-154

- Kalinchik, Miroshnichenko, Investigation of the optimal load distribution on the site user / Collection of materials of reports of scientific-technical conference ""Problems and prospects of science development in the beginning of the third Millennium in Europe and Asia", 2018. – (Kyiv, March 31, 2018.) - P. 151-154

Key words: control and load distribution, schedule of electrical loads, linear programming, mixed multi-objective optimization, factors influencing optimization of load, mathematical model, objective function, control of the results.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	18
1 АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ВИРОБНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ	24
1.1 Необхідність керування електричним навантаженням виробничих об'єктів.....	24
1.2 Складові керування навантаженням об'єктів з власною генерацією енергії.....	26
1.2.1 Вирівнювання графіку електричних навантажень енергосистеми з допомогою споживачів-регуляторів	26
1.2.2 Прогнозування графіка електричного навантаження.....	32
1.2.2 Узгодження режимів роботи генераторів та графіка електричного навантаження.....	35
1.2.2 Методи оптимізації режимів роботи як елемент керування електричним навантаженням.....	36
1.3 Моделювання поведінки «активного» споживача з точки зору керування навантаженням	38
1.4 Досвід використання нейронних мереж для оптимізації втрат потужності та режимів роботи елементів розподіленої мережі	42
Висновки.....	43
2 МОДЕЛЮВАННЯ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕНЬ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА СКЛО-ГЕНЕРУЮЧОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	44
2.1 Дослідження технологічних процесів підприємства.....	44
2.2 Аналіз електропостачання підприємства	46

2.3 Модулювання графіків навантаження підприємства	51
Висновки.....	56
3 РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ СКЛО- ГЕНЕРУЮЧОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	57
3.1 Оптимізація розподілу навантаження об'єкту електровикористання .	58
3.2 Оптимізація режимів роботи навантаження за рахунок керування ціною генерації та споживання електричної енергії	63
3.3 Змішана багатокритеріальна оптимізація системи електропостачання підприємства.....	65
3.4 Модулювання узгоджених графіків електричного навантаження та системи розподіленої генерації підприємства.....	74
Висновки.....	86
4 СТАРТАП ПРОЕКТ «Автоматизована система оптимізації планування споживання та генерації електроенергії активним споживачем»	87
4.1 Опис ідеї проекту	87
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	88
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	89
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	95
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	97
Висновки.....	100
ВИСНОВКИ	103

ВСТУП

Організація раціонального споживання енергоресурсів на сьогодні є однією із актуальних проблем для всього світового співтовариства. Зокрема, на даний момент питання підвищення енергоефективності на промислових підприємствах Україні набуває все більшої актуальності і стає одним із основних елементів загальної енергетичної політики держави. Досягнення помітних результатів потребує організації ефективної діючої системи енергетичного менеджменту на всіх рівнях управління.

Україна має досить високу енергоємність ВВП, що у 2,1 – 3,7 рази перевищує енергоємність економічно-розвинутих країн [1]. Останнім часом спостерігається динаміка зниження даного показника, і, все ж, економіка України є надзвичайно енергозатратною. Посилена увага до вирішення проблем енергозбереження є одним із пріоритетних шляхів розвитку енергетики країни.

У сфері енергоспоживання, зокрема, промислового сектору, здебільшого домінують енергозатратні технологічні процеси. Дієва система управління споживання енергоресурсів практично відсутня. На практиці моніторинг енергоспоживання здійснюють у спрощеній формі, що являє собою своєрідний облік споживання енергії. Більше того, аналіз та контроль енергоефективності на більшості промислових підприємств України, не проводиться належним чином. Все це призводить до необґрунтовано високих втрат енергетичних ресурсів [2].

Енергетична політика є рушійною силою впровадження та успішного функціонування систем енергетичного менеджменту [3]. Система управління енерговикористанням повинна поєднувати в собі важливі завдання, що стосуються контролю за енергоспоживанням, питань щодо поставки енергії, раціональної експлуатації технологічних процесів, тощо.

Актуальність теми В умовах недостатності паливно-енергетичних ресурсів та постійного зростання тарифів на електроенергію важливою є задача керування електричним навантаженням. Нераціональне використання електроенергії призводить до зменшення економічної ефективності промислових об'єктів та погіршення функціональності елементів постачаючої мережі. В свою чергу, це сприяє нерівномірності графіка електричних навантажень енергосистеми України, внаслідок чого енергосистема вимушена використовувати маневрові джерела генерації електроенергії для покриття пікових навантажень. Слід зазначити, що в Україні останні роки енергосистема має графік навантаження з двома явними піками навантаження – ранкового та вечірнього. В ці періоди проблема покриття електричного навантаження набуває максимальної пріоритетності, так як при відхиленні рівня генерованого навантаження від миттєвого попиту, в енергосистемі змінюється частотиструму та розрахунковий рівень напруги при заданому режимі функціонування. Це в свою чергу може призвести до відключення споживача, відмови генеруючого, постачаючого та розподілюючого обладнання, або до зниження його експлуатаційної надійності. Робота енергосистеми при більш рівномірному графіку електричних навантажень в будь-якому інтервалі часу забезпечує суттєву економію паливно-енергетичних ресурсів на генеруючих джерелах. Також в довгостроковій перспективі вирівнювання графіку електричних навантажень генеруючий частині енергосистеми використовувати потужності меншої величини, що призводить до економії капітальних витрат на їх установку. Також слід зазначити, що сучасні промислові підприємства характеризуються значним зростом навантаження за рахунок будівництва джерел розподіленої генерації. Така тенденція спричинена зручністю джерел розподіленої генерації, а саме: порівняно невеликим терміном введення в експлуатацію, малими габаритами, можливістю роботи на вторинних ресурсах. Тому виникає питання планування оптимальних

експлуатаційних режимів таких установок та їх узгодження з існуючими системами електропостачання.

Тому важливою задачею енергосистеми є зацікавлення споживача сприяти вирівнюванню графіку електричного навантаження.

Метою магістерської дисертації є підвищення ефективності енерговикористання «активного» споживача керуванням навантаження на основі балансу власного попиту.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені такі завдання:

1) _аналіз існуючих методів оптимізації режимів електроспоживання підприємств з метою зниження сумарних витрат підприємства при збереженні плану випуску продукції при обмеженні по технологічно допустимому рівні зниження споживаної електроенергії ;

2) аналіз застосування та можливості удосконалення існуючих методів оптимізації режимів електроспоживання на існуючому виробничому об'єкті з врахуванням власної генерації електроенергії;

3) розробка алгоритмів та програмних засобів для побудови математичної моделі при побудові систем керування електричним навантаженням на виробничих б'єктах.

Об'єктом дослідження є процес керування електричним навантаженням об'єктів енерговикористання.

Предметом дослідження є методи та способи контролю електроспоживання промислових підприємств в умовах наявності власної генерації.

В дослідженні були використані такі програмні продукти як: Microsoft Word, Microsoft Excel (внутрішні програмні функції та патки «аналіз даних»), Statistica, Python, Jupyter.

Методи дослідження. Методичною основою дисертаційного дослідження є комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, використовуваних для:

1) побудування та прогнозування графіків електричного навантаження – методи математичного моделювання, методи теорії ймовірності та математичної статистики, методи авторегресії;

2) визначення цільової функції для розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації – методи експертного опитування, методи економіко-математичного моделювання, апарат нечіткої математики, методи оптимального програмування, методи математичної статистики, економіко-математичного моделювання та встановлення довірчих інтервалів до відповідних моделей;

3) розв'язок багатокритеріальної оптимізаційної задачі – методи лінійного та нелінійного програмування, нейронні мережі та математичні моделі засновані на теорії нечіткої логіки;

4) методи узагальнення та логічного підходу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1) удосконалено процедуру контролю керуванням електричним навантаженням виробничими об'єктами, а саме: проведено аналіз методів мінімізації плати за електропостачанні при наявності джерел розподіленої генерації, визначенно можливі чинники цільової функції багатокритеріальної оптимізації

2) удосконалено алгоритм вирішення задачі планування споживання та власної генерації електроенергії наперед з можливістю оперативного перепланування, а саме: досліджено вплив додаткових чинників (надійність обладнання) на процес багатокритеріальної оптимізації; досліджено залежність результатів економічної оптимізації від перерозподілу режимів роботи підприємства

3) розроблено математичні моделі керуванням для типів підприємств, розглянутих в дисертації. Розроблено алгоритм та програмні засоби для вирішення задачі мінімізації втрат потужності та багатокритеріальної оптимізації потужності для підприємств з розподіленою генерацією

4) визначені основні напрямки та шляхи удосконалення існуючих систем керування електричної потужності промисловими підприємствами

Практичне значення роботи. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення діючої в Україні системи контролю ефективності використання електричної енергії та забезпечити реалізацію одного з можливих напрямів її подальшого розвитку. Використання програмних засобів, що розробляються у магістерській дисертації, дозволить практично застосовувати деякі системи моніторингу рівня ефективності використання електричної енергії на виробничих об'єктах.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської дисертації були оприлюдненні:

- Калінчик В.П., Пономаренко В., Мирошніченко Є., Дослідження впливу графіка електричного навантаження галузі машинобудування та металообробки на графік ОЕС України / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції ««Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2017. – (Київ, 30 листопада 2017.) - С.191-198.

- Калінчик В.П., Пономаренко В., Мирошніченко Є., Аданіков О., Оптимізація витрат потужності в комплексній енергосистемі скляного виробництва / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції ««Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2018. – (Київ, 31 березня 2018.) - С.151-154

- В.П.Калінчик, Є.В.Мірошніченко, В.О.Пономаренко. Дослідження оптимального розподілу навантаження на ділянці споживача/ Збірник наукових праць конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (26-27 КВІТНЯ 2018) – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2018.- С.

- В.П.Калінчик, В.О.Пономаренко, Є.В.Мірошніченко. Використання кластеризації для дослідження впливу галузей на графік

навантаження ОЕС України/ Збірник наукових праць конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (26-27 КВІТНЯ 2018) – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2018.- С.

Публікації. За результатами наукових досліджень було опубліковано:

- Калінчик В.П., Пономаренко В., Мирошніченко Є., Дослідження впливу графіка електричного навантаження галузі машинобудування та металообробки на графік ОЕС України / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції ««Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2017. – (Київ, 30 листопада 2017.) - С.191-198.

- Калінчик В.П., Пономаренко В., Мирошніченко Є., Аданіков О., Оптимізація витрат потужності в комплексній енергосистемі скляного виробництва / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції ««Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2018. – (Київ, 31 березня 2018.) - С.151-154

- В.П.Калінчик, Є.В.Мірошніченко, В.О.Пonomаренко. Дослідження оптимального розподілу навантаження на ділянці споживача/ Збірник наукових праць конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (26-27 КВІТНЯ 2018) – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2018.- С.

- В.П.Калінчик, В.О.Пonomаренко, Є.В.Мірошніченко. Використання кластеризації для дослідження впливу галузей на графік навантаження ОЕС України/ Збірник наукових праць конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (26-27 КВІТНЯ 2018) – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2018.- С.

1 АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ВИРОБНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Необхідність керування електричним навантаженням виробничих об'єктів

В умовах недостатності паливно-енергетичних ресурсів та постійного зростання тарифів на електроенергію важливою є задача керування електричним навантаженням. Нераціональне використання електроенергії призводить до зменшення економічної ефективності промислових об'єктів та погіршення функціональності елементів постачаючої мережі. В свою чергу, це сприяє нерівномірності графіка електричних навантажень енергосистеми України, внаслідок чого енергосистема вимушена використовувати маневрові джерела генерації електроенергії для покриття пікових навантажень. Слід зазначити, що в Україні останні роки енергосистема має графік навантаження з двома явними піками навантаження – ранкового та вечірнього[26]. В ці періоди проблема покриття електричного навантаження набуває максимальної пріоритетності, так як при відхиленні рівня генерованого навантаження від миттєвого попиту, в енергосистемі змінюється частотиструм та розрахунковий рівень напруги при заданому режимі функціонування[23]. Це в свою чергу може призвести до відключення споживача, відмови генеруючого, постачаючого та розподілюючого обладнання, або до зняття його експлуатаційної надійності. Робота енергосистеми при більш рівномірному графіку електричних навантажень в будь якому інтервалі часу забезпечує суттєву економію паливно-енергетичних ресурсів на генеруючих джерелах. Також в довгостроковій перспективі вирівнювання графіку електричних навантажень генеруючий частині енергосистеми використовувати потужності меншої величини, що призводить до економії капітальних витрат на їх установку[15].

Тому важливою задачею енергосистеми є зацікавлення споживача сприяти вирівнюванню графіку електричного навантаження. Складність розв'язку проблеми вирівнювання графіка електричного навантаження підтверджується тим, що форма графіка навантаження об'єднаної енергосистеми України (ОЕСУ) залишалась стабільною протягом останніх декількох років. Графіки електричних навантажень ОЕСУ за період 2014-2016 роки представлений на рисунку 1.1[6].

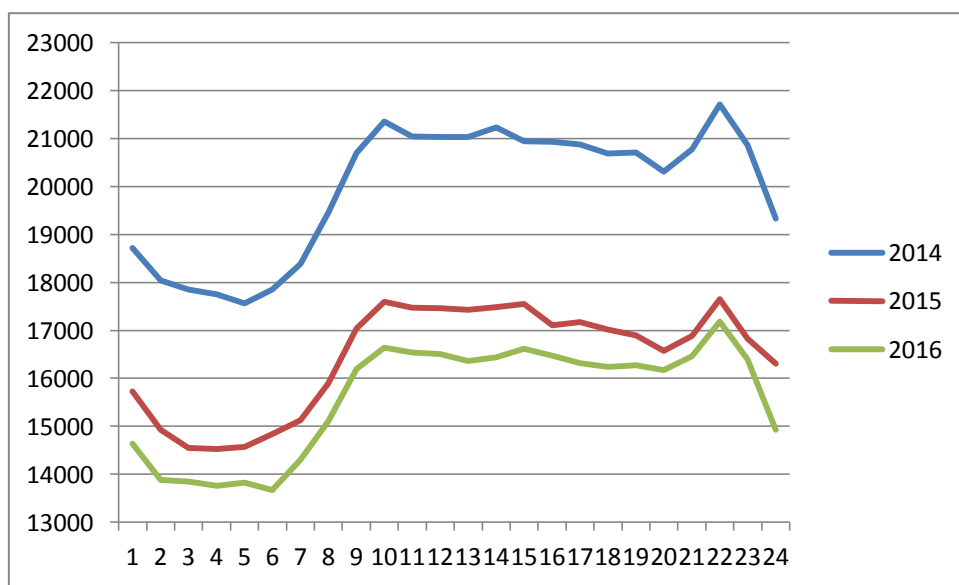


Рисунок 1.1 - Графік електричного навантаження ОЕСУ за період 2014-2016

Як бачимо, графік має чітко виражені ранковий і вечірній максимуми, зону зниження навантаження в середині дня і глибокий провал вночі. Такий характер графіку призводить до збільшення нормативних втрат електричної енергії (збільшення складової змінних втрат через збільшення коефіцієнта форми графіка навантаження) та необхідності пуску в пікові години теплової генерації, що збільшує вартість електричної енергії на оптовому ринку. Отже, однією з важливих задач є вирівнювання даного графіку. Це можна втілити за допомогою регулювання добових графіків електричних навантажень промислових підприємств.

Ефект від можливого вирівнювання графіка навантаження може отримувати кожен з трьох учасників цього процесу: держава, енергосистема і споживачі. У зв'язку з цим вирівнювання графіка навантаження енергосистеми вимагає проведення цілеспрямованих заходів з відповідним матеріальним і фінансовим забезпеченням.

Керування електричним навантаженням потребує значно менших коштів ніж будівництво нових енергоблоків, та може забезпечити зниження генеруючих потужностей на 10-15% [6].

Також слід зазначити, що сучасні промислові підприємства характеризуються значним зростом навантаження за рахунок будівництва джерел розподіленої генерації[7]. Така тенденція спричинена зручністю джерел розподіленої генерації, а саме: порівняно невеликим терміном введення в експлуатацію, малими габаритами, можливістю роботи на вторинних ресурсах. Тому виникає питання планування оптимальних експлуатаційних режимів таких установок та їх узгодження з існуючими системами електропостачання.

1.2 Складові керування навантаженням об'єктів з власною генерацією енергії

Задачу керування електричним навантаженням споживача з власною генерацією електроенергії можна розглядати з декількох сторін:

- вплив на вирівнювання графіка електричного навантаження ОЕСУ
- економічна вигода від режиму роботи споживача-генератору
- ефективність та надійність функціонування елементів електричного постачання та електроспоживання

1.2.1 Вирівнювання графіку електричних навантажень енергосистеми з допомогою споживачів-регуляторів

Графік навантаження енергосистеми представляє собою суму множини графіків електричних навантажень споживачів. Тому одним зі

способів сприяння вирівнювання ГЕНОЕСУ є використання споживачів регуляторів, що здатні обмежувати, або переносити частину власного електричного навантаження з одних годин на інші(при добовому регулюванні), або з робочих днів на вихідні(при тижневому регулюванні)[8].

Відомо, що величини питомих витрат при деформації режимів електроспоживання різних промислових об'єктів суттєво відрізняються [9]. Тобто дефіцит пікового навантаження в ОЕС може бути ліквідований різним складом промислових споживачів та відповідній кожному з них сумі витрат. Таким чином, деформація графіка електричного навантаження для певних промислових споживачів з врахуванням їх граничних регульованих можливостей є техніко-економічним обґрунтованим керуванням режимами споживання ОЕС. Споживач в даному випадку приймає рішення на основі власного складеного балансу витрат електроенергії, з врахуванням величини зниження плати за споживану електроенергію, що була отримана внаслідок встановлення пільгового тарифа такому споживачу. Якщо запропоновані енергосистемою тарифи не дозволять споживачеві перекрити витрати, необхідні для зниження його навантаження, то споживач відповідно не буде брати участь в процесі регулювання електроспоживання. Також необхідно враховувати, що споживач має певні обмеження у величині та терміні регулювання потужності. Граничні значення параметрів зниження навантаження повинні бути визначені експлуатаційним персоналом споживача, який володіє повною інформацією про технологічні особливості та здатність адаптовуватись до обмеження електроспоживання.

Регульовані можливості споживача-регулятора можна охарактеризувати наступними параметрами[10]:

- «регульована» потужність, тобто гранично допустима величина зниження споживаної потужності - P_{EP} , МВт;

- допустимим часом, протягом якого можна знизити потужність без впливу на графік постачання цільового продукту, що випущений, або буде випущений даним споживачем $-\tau$, год:

Якщо споживач є промисловим підприємством при визначенні граничних можливостей зниження навантаження споживача необхідно також врахувати наступні обставини:

1. Повинні бути визначені ті електроприймачі, відключення яких призведе лише до тимчасового зниження продуктивності підприємства. Сумарна потужність таких електроприймачів складе його регульоване навантаження, тобто:

$$P_{EP} = \sum \Delta P_i \quad (1.1)$$

2. Необхідно виділити технологічні ланки виробництва, що мають явно виявлений початок та кінець технологічного процесу. Це в свою чергу дозволить підприємству мати можливість складування його продукції (під технологічною ланкою мається на увазі сукупність учасників виробництва, електроприймачі електроенергії яких включені в регульоване навантаження розглянутого споживача).

3. Відключення певного електроприймача призводить до пропорційного зниження продуктивності технологічної ланки споживача.

4. Кількість цільової продукції, виробленої ланкою, або підприємством за одиницю часу, приймається постійним.

5. Вважається визначеною величина та вид внутрішнього резерву продуктивності для кожної ланки підприємства. За рахунок їх залучення в безперебійний період електропостачання здійснюється заповнення накопичувачів продукції кожної технологічної ланки.

В залежності від величини тарифної ставки кожен споживач може визначити прийнятну величину регульованої потужності та терміну

зниження електроспоживання в години максимального навантаження ОЕС. Якщо розглянути певне промислове підприємство з групою електроприймачів в якості «активного» споживача електричної енергії, в якому регулювання здійснюється шляхом переноса пікового навантаження в інші часи, процес впливу даного споживача на вирівнювання ГЕН ОЕСУ можна представити на рисунку 1.2.

Нехай кожна технологічна ланка, що бере участь у процесі використання електричної енергії характеризується власним технологічним процесом, режимами експлуатації та графіком електричного навантаження. В такому випадку загальний ГЕН підприємства можна розкласти на кількість графіків навантажень, відповідну кількості таких ланок. ГЕН кожної такої ланки буде характеризуватись певними власними показниками графіка. Згідно класичної теорії оцінювання нерівномірності графіків[30] навантажень основними показниками ГЕН, що характеризують рівномірність споживання електричної енергії є: середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт форми, коефіцієнт максимуму, коефіцієнт заповнення та коефіцієнт нерівномірності графіка електричних навантажень. Розглянемо фізичний сенс кожного коефіцієнта.

Середньоквадратичне відхилення визначається як:

$$\sigma = \sqrt{P_{ск}^2 - P_c^2} \quad (1.2)$$

де $P_{ск}$ – середньоквадратична потужність, кВт; P_c – середнє значення активної потужності протягом доби, кВт.

Коефіцієнт форми графіка навантаження:

$$k_{\phi} = \frac{P_{ск}}{P_c}, \quad (1.3)$$

Коефіцієнт максимуму:

$$k_M = \frac{P_{\max}}{P_c}, \quad (1.4)$$



Рисунок 1.2 - Керування споживачем методом «зсуву» пікових навантажень та вплив на ОЕС

де P_{max} - максимальне значення активної потужності протягом доби, кВт.

Коефіцієнт заповнення:

$$k_3 = \frac{P_c}{P_{max}}, \quad (1.5)$$

Коефіцієнт нерівномірності:

$$k_H = \frac{P_{min}}{P_{max}}, \quad (1.6)$$

де P_{min} – мінімальне значення активної потужності протягом доби, кВт.

Таким чином, критерій рівномірності ГЕН з точки зору класичних коефіцієнтів оцінювання можна представити у наступному вигляді[32]:

$$\begin{cases} \delta \rightarrow 0 \\ k_{\phi} \rightarrow 0 \\ k_M \rightarrow 1, \\ k_3 \rightarrow 1 \\ k_H \rightarrow 1 \end{cases} \quad (1.7)$$

В результаті можна отримати зведену таблицю показників нерівномірності ГЕН для кожної технологічної ланки(ТЛ) промислового підприємства, яка надасть можливість аналізувати кожну ланку з точки зору режимів споживання електричної енергії протягом певного часу та приймати рішення про деформацію ГЕН всього підприємства з точки зору особливості функціонування технологічних ланок. Зразок заповнення такої таблиці зображено на рисунку 1.3.

	Середньодобове навантаження, кВт	Середньокв адрична потужність, кВт	Середньокв адричне відхилення потужності, кВт	Коефіцієнт форми графіка	Коефіцієнт максимуму	Коефіцієнт заповнення	Коефіцієнт нерівномірності
Л ₁	P _{с1} ,	P _{ск1}	σ ₁	k _{ф1}	k _{м1}	k _{з1}	k _{н1}
.....
Л _i	P _{сi} ,	P _{ски}	σ _i	k _{фи}	k _{ми}	k _{зи}	k _{ни}
.....
Л _n	P _{сn} ,	P _{скn}	σ _n	k _{фn}	k _{mn}	k _{zn}	k _{nn}

Рисунок 1.3 - Вихідна таблиця показників графіків кожної ланки підприємства

В дослідженні [30] проведено аналіз доцільності використання класичної теорії оцінювання нерівномірності графіків електричних навантажень. Згідно результатам дослідження, для промислових підприємств основною одиницею вимірювання нерівномірності ГЕН є загальна вартість спожитої електроенергії, яку підприємство сплачує

згідно з приборами обліку електроенергії. З цієї причини оцінювання нерівномірності ГЕН за допомогою розрахункових коефіцієнтів класичної теорії з економічної точки зору не є ефективним і не дає повної економічної оцінки результатів вирівнювання ГЕН. Для вирішення даної проблеми необхідно використовувати існуючі методи оцінки нерівномірності ГЕН в умовах поділу ГЕН на різні тарифні зони. В розділі 3 даного дослідження запропонована нова модель оцінки нерівномірності графіка електричного навантаження підприємства з врахуванням економічної доцільності.

1.2.2 Прогнозування графіка електричного навантаження

Прогнозування електричного навантаження дозволяє визначити основну вихідну інформацію для прийняття рішень при керуванні електроенергетичними системами в процесі планування їх нормальних електричних режимів. На основі прогнозованих даних навантажень можна визначити оптимальні режими роботи електроенергетичних систем, оцінити їх надійність, економічність, якість електричної енергії та інші параметри, що дозволять покращити функціонування енергосистеми.

Задача прогнозування електроспоживання складається в аналізі об'єктивних факторів, що впливають на зміну навантаження, та розрахунок майбутніх графіків навантаження електроспоживання[31].

Фактори, що можуть впливати на графік навантаження електроспоживання представлені у таблиці 1.1.

Основними елементами прогнозу електричних навантажень споживачів енергії є: графіки активних і реактивних навантажень для різних часових циклів: добових, сезонних, річних; споживання електроенергії за певні періоди у функції часу; основні характеристики графіків навантажень за задані періоди часу в перспективі.

Таблиця 1.1.

Фактори	Соціально-економічні	Метеорологічні
Циклічні	Час(години доби)	Температура повітря
	Тижневий день	Тривалість світлового дня
	Тип тижневої доби(робоча, вихідна, святкова, передсвяткова)	Час сходу та заходу сонця
Природні	Індивідуальна виробнича програма функціонування промислових підприємств	Атмосферний тиск
		Відносна вологість повітря
		Напрямок вітру
	Використання альтернативних джерел енергопостачання	Швидкість вітру
		Хмарність
		Опади
Випадкові	Введення в експлуатацію енергоємних об'єктів	Горизонтальна дальність видимості
		Різкі кардинальні зміни погодних умов(напр.. температура повітря та опади)

Процес споживання електроенергії можна представити у вигляді часового ряду, що складається з миттєвих значень споживаної потужності в дискретні проміжки часу. Моделі такого типу задовольняють умову адекватності для розв'язку багатьох задач прогнозування процесів. Для

короткострокових прогнозів зазвичай використовують моделі, що ґрунтуються на нещодавніх відомостях про енергоспоживання. Створюється великий об'єм визовів прогнозів, через те, що вони визиваються кожну годину, а інколи і частіше.

На теперішній час розроблена велика кількість методів та моделей прогнозування електричного навантаження енергосистем[17]. Традиційно в енергетиці використовують такі статистичні методи прогнозування як:

1. Метод авторегресії. Виконується в наступній математичній формі

$$L(t, d) = \sum_{k=1}^4 \alpha_k L_k(t, d),$$

де α_k - лінійні важелі, що забезпечують оптимальну комбінацію чотирьох окремих прогнозів; $L_1(t, d)$ -прогноз $L(t, d)$ на основі авторегресійної моделі першого порядку з затримкою в 1 годину; $L_2(t, d)$, $L_3(t, d)$, $L_4(t, d)$ - з затримкою в одну добу, тиждень та рік відповідно.

Даний підхід має середньоквадратичну похибку добового прогнозування електричного навантаження не вище 4%[33].

2. Метод узагальненого експоненційного згладжування.

Використовується в основному для прогнозування сумарних часових навантажень та має математичну форму:

$$L(t) = \alpha^T f(t) + \varepsilon(t).$$

де α^T - транспонований вектор експоненційно згладжених важелів, $f(t)$ - вектор згладжуючих функцій.

Згладжуюча функція – функція розкладу в ряд Фур'є за певний визначений період.

3. Також для прогнозування електричного навантаження в теперішній час застосовуються підходи, засновані на нечіткій логіці та нейронних мережах. В роботі [34] був проведений порівняльний аналіз методів регресійного моделювання та нечітких нейронних мереж. Прогнозування проводилось окремо для робочих та вихідних днів.

1.2.2 Узгодження режимів роботи генераторів та графіка електричного навантаження

Важливою умовою функціонування джерел розподіленої генерації є найбільш повна відповідність характеристиці агрегату режиму роботи генератора – з іншого боку, та особливостями електроспоживача – з іншого[25].

Вітроагрегат працює по некерованому графіку, споживач же часто не допускає перебіїв в подачі електроенергії, потребує забезпечення електроенергії по заданому ГЕН. Головною задачею є знаходження оптимальних розрахункових швидкостей вітру, що визначають встановлену потужність та швидкість потоку, при якому вступає в дію система автоматичного регулювання, що обмежує потужність вітроколеса. Розрахунки балансів постачання енергії від вітроустановки та її витрати за певний період часу дозволяє визначити основні аспекти ефективності використання вітроустановки

Отже, при узгодженні режимів роботи сонячних панелей, або вітрових установок з ГЕН споживача досить часто виникають невизначеності, пов'язані з особливостями споживача та генератору. Для вирішення задач оцінки ситуацій керування та прийняття рішень в умовах невизначеності в тих випадках, коли людиною не можуть бути приведені точні кількісні оцінки того чи іншого параметра, а також, коли знаходження точного рішення стандартними засобами пов'язане з великими часовими та обчислювальними витратами, або потребують величесних обсягів пам'яті, найбільш підходять методи нечіткої логіки. Тому пропонується дослідити застосування нечіткого аналізу при моделюванні узгодження режимів роботи джерел розосередженої генерації та споживачів. Результат представлений у розділі 3, підрозділі 3.3.

1.2.2 Методи оптимізації режимів роботи як елемент керування електричним навантаженням

Основною задачею оптимального управління нормальними режимами роботи є забезпечення надійного електропостачання споживачів при оптимальних показниках якості електричної енергії та мінімальних експлуатаційних витратах. Слід зазначити, що багатокритеріальна оптимізація режимів генерації та споживання ділянки розподіленої мережі закладається у формуванні оптимальних з точки зору комплексу встановлених критеріїв мінімізації втрат, мінімізації експлуатаційних витрат, максимізації якості електроенергії та інших при врахуванні технічних обмежень на генерацію, транспорт, та споживання електроенергії [3]. Така задача може бути вирішена з застосуванням апарату лінійного та нелінійного програмування з обмеженнями у вигляді рівнянь встановленого режиму і нелінійних нерівностей[4]. Однак велика кількість вузлів, складні функціональні та не функціональні залежності, часові перерви в роботі обладнання та випадковий характер поведінки мережі ускладнюють постановку задачі лінійного та нелінійного програмування. Це в свою чергу, зумовлює використання евристичних алгоритмів багатокритеріальної оптимізації[9].

Аналіз існуючих методів оптимізації розподілу навантаження показав, що для розв'язку задач оптимального управління елементами електротехнічної системи існує досить велика кількість підходів. Але серед них порівняльно малий відсоток розв'язків оптимізаційних задач, що дозволяють підвищити ефективність роботи ті керування промислових систем електроспоживання[10].

У випадках, коли кількість споживачів та генераторів відома, як і їх потужності, для формалізації задачі розподілу навантаження, що потребують споживачі по джерелах генерації, використовують задачі лінійного програмування. Традиційною задачею лінійного програмування в вищезазначеному випадку вважається транспортна задача, що

розв'язується на основі оптимального плану розподілу потужностей. Вважається, що розв'язок даної задачі дозволяє правильно розподілити споживання електроенергії з мінімальними втратами.

Для побудови транспортної задачі оптимальний план повинен бути допустимим, тобто задовольняти умовам ефективності та якості електроенергії[11].

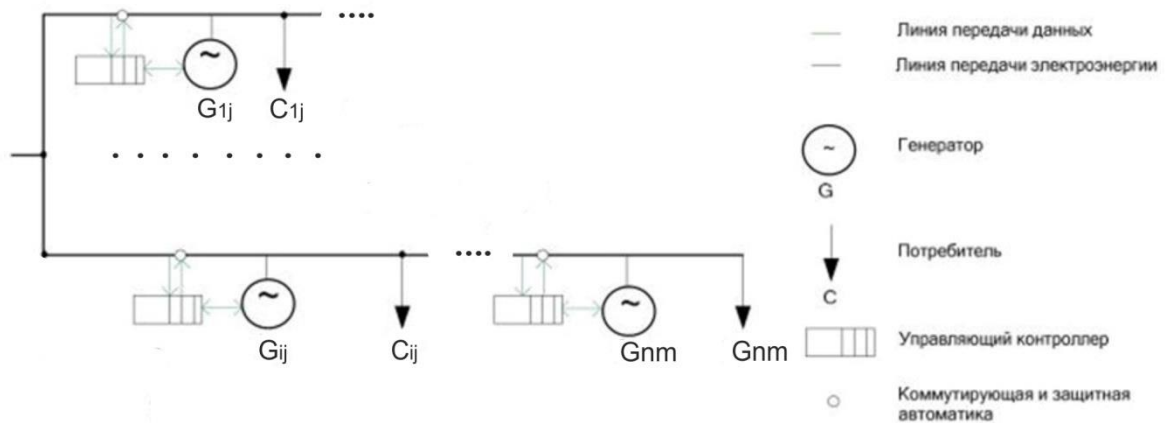


Рисунок 1.4 - Графічне зображення початкової умови транспортної задачі

Якщо розглянути задачу оптимізації на прикладі мережі (рисунок 1.4), що складається з n генераторів та m споживачів електроенергії, втрати при передачі електроенергії тим більші, чим більше відстань від генератору до споживача[12].

Цільова функція задачі розподілу повної потужності в локальній мережі матиме вигляд:

$$F(x) = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b C_{ij} X_{ij} \quad (1.8)$$

де C_{ij} -втрати при передачі потужності від i -го генератору до j -го споживача;

де X_{ij} -передана потужність від i -го генератору до j -го споживача при умовах:

$$\begin{aligned}\sum x_{ij} &= a_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \\ \sum x_{ij} &= b_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} &\geq 0.\end{aligned}\tag{1.9}$$

де x_{ij} – потужність генератору/споживача.

1.3 Моделювання поведінки «активного» споживача з точки зору керування навантаженням .

В рамках концептуального розвитку енергосистеми України набула популярності концепція «активізації» певної частини споживачів електроенергії. Дана концепція закладається у можливості споживачів самостійно керувати обсягами отриманої електроенергії на основі власних потреб.

Основні функції «активного» споживача в енергосистемі[5]:

- керування власним енергоспоживанням відповідно до необхідності виконання своїх виробничих планів по випуску продукції, або забезпеченню енергією власні потреби шляхом оптимізації своїх затрат на купівлю електроенергії з зовнішніх ринків
- визначення умов завантаження власної потужності(при наявності) для формування заявки на участь в покупці/продажі електроенергії на оптовому та рознічному ринках
- визначення ступеню власної участі в представленні контрольованих активних та реактивних навантажень для керування зі сторони системного оператора

В статті [11] розглянуте моделювання керування поведінкою споживача з метою вирівнювання графіка навантаження енергосистеми, що дозволяє досягти максимальної ефективності енергоблоків, зниженню шкідливих викидів у навколишнє середовище. Якщо в вищезазначеній статті була запропонована зміна режимів роботи власне підприємства для досягнення ефекту зниження витрат та втрат енергоресурсів, то для споживача, що має власну систему генерації енергоресурсу, необхідно

враховувати розрахунок тарифу на електроенергію, що враховує поведінку споживача та система стимулювання різних груп споживачів до розподілу власного навантаження протягом доби. Такий підхід дозволяє споживачеві регулювати фактичне навантаження до максимально ефективного значення при сталих значеннях тарифу та обсягу виробленої енергії. Також необхідно враховувати інтереси генерації та регулювання, оскільки різні режими роботи відображають різні технологічні особливості та враховувати не лише узагальнений вигляд графіка навантаження споживача, а й поведінку прийнятності зміни його конфігурації[12].

Створення оптимізаційних технологій на базі системи автоматичного контролю, управління виробленням електроенергії за допомогою різних генеруючих станцій та споживанням електроенергії різними технологічними процесами потребує розробки та використання в процесах управління відповідної математичної моделі [13].

В роботі [14] запропонована загальна економічно-математична модель «активного» споживача, що мінімізує функцію витрат на електроенергію та враховує:

- ціну на куплену електроенергію
- профіль енергоспоживання
- втрати через відхилення поточного профілю від нормованого
- витрати на передану в мережу електроенергію власної генерації
- об'єм на передану в мережу електроенергію власної генерації
- собівартість виробництва електроенергії власної генерації

Модель дозволяє оцінити економічні інтереси споживача на певному часовому проміжку. Згідно даної моделі цільова функція активного споживача виражена через сукупність прибутку від споживання та власної генерації електроенергії:

$$f = \sum_{n=1}^N d_n^{\alpha_n} - \sum_{t=1}^T p_{\alpha}(t, a(t), \xi_a, \eta) \left[\sum_{n=1}^N \alpha_n^{\alpha_n}(t) - g(t) \right] + \sum_{t=1}^T \left[p_g(t, g^e, \xi_g, \eta) g^e(t) - \sum_{n=1}^M c_n(g_n(t)) \right] \quad (1.10)$$

Розіб'ємо дану математичну модель на окремі компоненти.

Сумарне споживання в момент часу t для обладнання n та його графіка навантаження α_n :

$$a(t) = \sum_{n=1}^N a_n^{\alpha_n}(t) \quad (1.11)$$

$d_n^{\alpha_n}$ - грошова сума, що споживач готовий заплатити за можливість експлуатації обладнання n в режимі α_n порівнюючи з ситуацією невикористання об'єкта обладнання

Повний об'єм генерації в період часу, що розводіється між внутрішнім споживанням та виданням:

$$g(t) = \sum_n g_n(t) \quad (1.12)$$

де $g_n(t)$ - потужність генерації обладнання n

Ціна на споживання електроенергії в залежності від часового проміжку t :

$$p_a(k, a(t), \xi_a, \eta) \quad (1.13)$$

де ξ_g - параметри тарифікації

η - зовнішні умови (температура, тривалість доби, тощо.)

Ціна на передану в мережу електроенергію в залежності від часового проміжку t :

$$p_g(k, g^e, \xi_a, \eta) \quad (1.14)$$

Витрати на виробництво активним споживачем електроенергії:

$$C(t) = \sum_{n=1}^M c_n(g_n(t)) \quad (1.15)$$

Тобто задачею «активного» споживача є максимізація цільової функції f для кожного об'єкта обладнання $n = 1, \dots, N$ графіка споживання $\alpha \in \{1, \dots, Rn\}$, для кожного генератору $n = 1, \dots, M$ його графіка генерації (тобто для кожного з періодів $t = 1, \dots, T$ вибрати невід'ємне

число потужності генерації $gn(t)$, а також об'єму переданої в мережу електроенергії

Якщо тариф на електроенергію залежить лише від часу доби, а енергетична компанія купує електроенергію у споживача по тій же ціні, що і продає, прагнення споживача максимально понижувати енергоспоживання в періоди високої ціни спадає. Витрати компенсуються упущеним доходом від недопоставки електроенергії в мережу. Коли споживач може незалежно керувати потужністю власної генерації, задача максимізації цільової функції f розпадається на M незалежних задач вибору потужності генерації для кожної з M присутніх енергоустановок. Потужність власної генерації одної установки вибирається в залежності від ціни на електроенергію для даної установки в певний період часу. Графік вибору потужності представлено на рисунку 1.5.

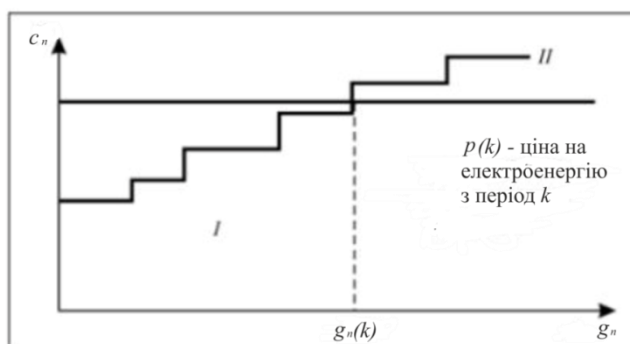


Рисунок 1.5 - Вибір режиму роботи генератору

Отже, складовими задачі оптимізації функції вибору власної генерації є тип тарифу, укладений між енергопостачальною компанією та споживачем, та особливості власної генерації електроенергії в мережу. Необхідно також враховувати режими роботи власної генерації з економічної точки зору:

- можливість використання розподіленої генерації
- можливість продажу електроенергії в мережу по ринковій ціні
- можливість використання розподіленої генерації для власних потреб

- можливість продаже електроенергії в мережу по ціні, що відрізняється від ринкової

1.4 Досвід використання нейронних мереж для оптимізації втрат потужності та режимів роботи елементів розподіленої мережі

Штучні нейронні мережі – обчислювальні пристрої, основою яких є паралельна обробка інформації усіма ланками. Вони здатні до навчання та узагальненню накопичених знань. До функцій, що покладені на нейронні мережі відносяться: апроксимація, класифікація, прогнозування, оцінювання[15].

Аналіз світових та вітчизняних джерел літератури показує, що штучні нейронні мережі ефективно використовуються для прогнозування електроспоживання в умовах неточних та неповних даних[16]. Більшість опублікованих праць спираються на найбільш відомий алгоритм навчання багат шарових перцептронів – алгоритм градієнтного спуску зі зворотнім розповсюдженням похибки[17]. Але в праці [18] автори доказали, що даний достатньо універсальний алгоритм не забезпечує найкращої зходимості, потребує достатньо багато часу для навчання нейронної мережі, а також потребує емпіричного, або алгоритмічного визначення оптимальної швидкості навчання, що досить сильно впливає на ефективність алгоритму.

Значне покращення ефективності використання штучних мереж може бути досягнуто завдяки використанню алгоритмів другого порядку, таких як алгоритми Ньютона, алгоритм пов'язаних градієнтів, або алгоритм Левенберга-Марквардта[19]. Алгоритм Левенберга-Марквардта не зважаючи на евристичний характер, дозволяє досягати найменшої похибки нейромережі, з наменшими часовими затратами. Алгоритм забезпечує оптимальну середину між швидкістю сходження, що виконується в алгоритмах Ньютона, та стабільністю, яка властива алгоритму градієнтного спуску.

Висновки

1. Багатокритеріальна оптимізація режимів генерації для розподілених систем електропостачання заключається в формуванні оптимальних з точки зору комплексу встановлених критеріїв мінімізації втрат, мінімізації експлуатаційних витрат, максимізації якості електроенергії та інших параметрів при врахуванні технічних обмежень на генерацію, транспортування та споживання електроенергії.

2. Задача оптимізації навантаження може бути вирішена з застосуванням апарату лінійного та нелінійного програмування з обмеженнями в вигляді рівнянь встановленого режиму. Однак велика кількість вузлів, складні функціональні і нефункціональні залежності, часові інтервали в роботі обладнання та випадковий характер поведінки мережи ускладнює постановку задачі лінійного та нелінійного програмування.

3. При узгодженні режимів роботи сонячних панелей, або вітрових установок з ГЕН споживача досить часто виникають невизначеності, пов'язані з особливостями споживача та генератору.

4. Для вирішення задач оцінки ситуацій керування та прийняття рішень в умовах невизначеності в тих випадках, коли людиною не можуть бути приведені точні кількісні оцінки того чи іншого параметра, а також, коли знаходження точного рішення стандартними засобами пов'язане з великими часовими та обчислювальними витратами, або потребують величезних обсягів пам'яті, найбільш підходять методи нечіткої логіки.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕНЬ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА СКЛО-ГЕНЕРУЮЧОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

2.1 Дослідження технологічних процесів підприємства

В роботі досліджується оптимізація системи електропостачання підприємства, що займається виготовленням скла флоат-методом. Даний метод був розроблений та запатентований у 1959 році англійським винахідником Пілкінгтоном. Даний метод особливий тим, що скло з печі плавлення поступає в горизонтальній площині у вигляді плоскої стрічки через ванну з розплавленим оловом на подальше охолодження та відпалювання[23].

Величезною перевагою флоат-методу в порівнянні з іншими, є велика продуктивність, стала товщина та якість поверхні. Флоат-скло характеризується рівністю та відсутністю оптичних дефектів. Найбільший розмір вихідного скла, як правило, складає 6000 мм x 3300 мм, при цьому товщина листа може бути навіть менше 2 мм і досягати 25 мм. Вихідне скло може бути прозорим, фарбованим або мати спеціальне покриття. Скло, яке одержують за допомогою флоат-методу, називається флоат-склом, і в даний час є найбільш розповсюдженим типом скла. Схема виготовлення флоат-скла наведена на рисунку 2.1[24].

Розглянемо етапи виготовлення будівельного скла флоат-методом.

1) зважування та змішування сипучих матеріалів. Основними компонентами флоат-скла є: кварцовий пісок (73%), окис кальцію (9%), сода (13%) і магній (4%). Матеріали зберігаються в окремих силосних вежах та дозуються на конвеєрну стрічку подачі незалежно один від іншого [25]. У суміш додається склобій, використання якого знижує споживання природного газу в процесі плавлення. Процес подачі, дозування та змішування матеріалів проходить під керуванням комп'ютера.

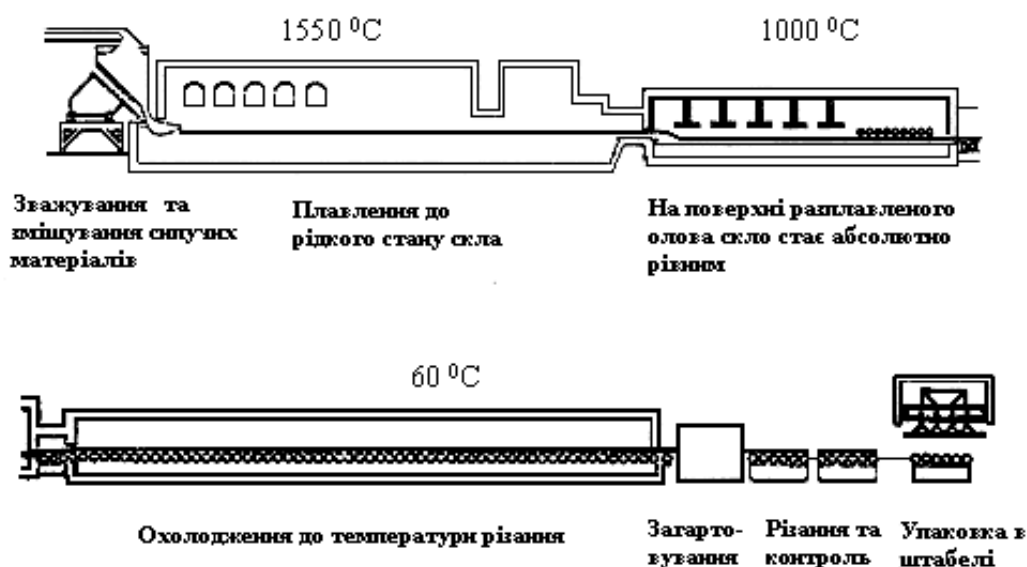


Рисунок 2.1 – Схема процесу виготовлення флоат-скла.

2) плавлення до рідкого стану скла. Після змішування, партія сировини поступає в камерні печі плавлення з різними температурами, де сировина плавиться при температурі біля 1550 °C. Кожна операція та температурний режим ретельно контролюється персоналом.

3) формування скла. Розплавлене скло "пливе" (тягнеться) в горизонтальній площині по ванні з рідким (розплавленим) оловом при температурі приблизно 1000 °C. Під час цього відбувається формування скляної стрічки шириною та товщиною обумовленою конструктивними можливостями обладнання. Оскільки скло має дуже високу в'язкість, а олово дуже рідке, та має високий поверхневий натяг, то вони не перемішуються, і поверхня контакту між ними ідеально пласка.

4) охолодження, різання та загартовування. На виході з ванни з оловом скло при температурі 600 °C переходить до загартовування в печі для зниження твердості, для полегшення процесів обробки, поліпшення структури та отримання повної однорідності скла, зняття внутрішнього напруження. Після цього скло охолоджується до температури різання,

тобто до кімнатної температури. Оскільки обидві поверхні скла плоскі, вони не потребують шліфування або додаткового полірування. Деяка кількість скла поступає до печі вакуумного ламінування, або інших установок для додаткової обробки.

5) контроль. Після охолодження скло проходить ретельну перевірку якості, для цього використовують різноманітні способи та установки. Автоматичний пакувальник приймає листи скла безпосередньо в кінці виробничої лінії, та влаштовує їх на стійку, яку відправляють на склад.

Увесь процес виготовлення від дозування сировини до різання та пакування є повністю автоматичним та керується комп'ютером.

2.2 Аналіз електропостачання підприємства

Ділянка мережі досліджуваного скляного підприємства, в якому встановлено джерела розподіленої генерації, входять до складу інформаційно-вимірювальної та керувальної системи локальної мережі. Структура керування ділянками розподіленої мережі зображено на рисунку 2.2

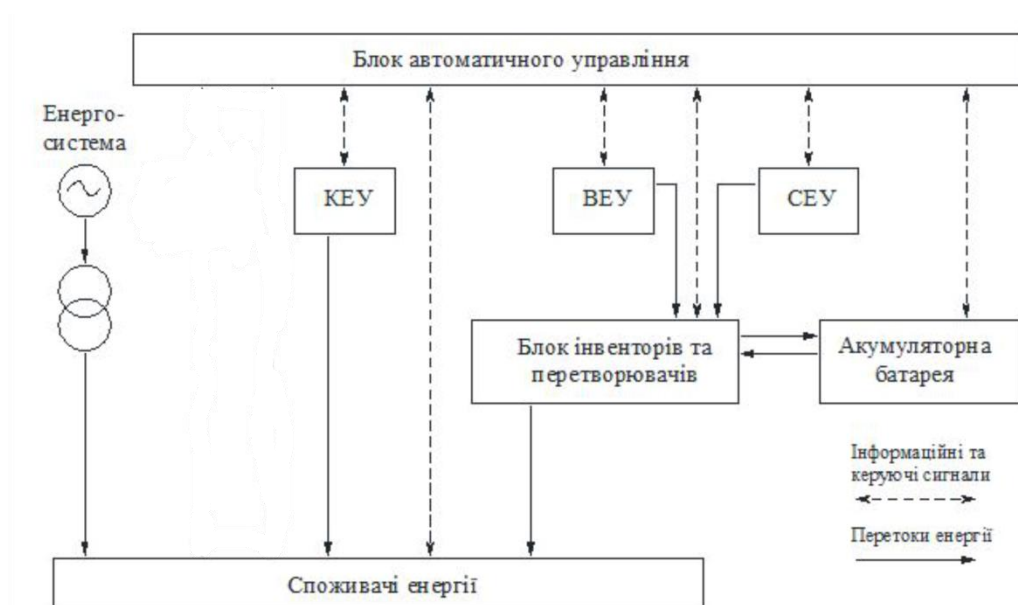


Рисунок 2.2 – Схема керування комплексною енергетичною системою

2.2.1 Електропостачання від енергосистеми

Електроенергія постачається на підприємство від ЛЕП – 10 кВ на ТП підприємства по кабельній лінії ААБ 3х70 напругою 10 кВ . Довжина лінії 1,5 км. Живлення цехів підприємства здійснюється різноперізними лініями АВВГ з трансформаторної підстанції ТП №15 (ТМЗ-400/10/0,4). В трансформаторній підстанції напруга трансформується з 10 кВ до напруги 0,4 кВ, на якій працює основне виробниче обладнання підприємства.

Живлення підприємства здійснюється від трансформатора ТМЗ-400/10/0,4 та за допомогою кабельних ліній (КЛ) АВВГ.

2.2.2 Можливості впровадження додаткових систем електропостачання на підприємство

Когенераційна установка

Фактори, що впливатимуть на затрати на вироблення 1 кВт·год електричної енергії когенераційною установкою:

1. Вартість когенераційної установки.

З різних джерел можна отримати інформацію, що затрати на спорудження когенераційної установки складає від 500\$ до 800\$ за 1 кВт електричної потужності [27].

Для подальших досліджень оберемо когенераційну установку потужністю 300 кВт (для забезпечення електропостачання основних об'єктів при перериванні електропостачання від об'єднаної енергосистеми України), та усереднену вартість її спорудження, тобто 650\$ за 1 кВт електричної потужності.

2. Термін експлуатації когенераційної установки.

Термін експлуатації когенераційної установки складає 25-30 років.

3. Вартість обслуговування та ремонту.

Організації що виконують спорудження когенераційних установок пропонують договір на забезпечення сервісного обслуговування. З додатку А ми можемо обрати величину затрат на сервісне обслуговування

когенераційної установки яку приймемо 3 коп/кВт·год виробленої електричної потужності.

4. Витрата палива на 1 кВт·год та його вартість.

В когенераційних установках використовують різні види палива, наприклад: природний газ, газ стічних вод, біогаз, газ сміттєзвалищ, коксовий газ і таке інше. Різниця цих газів полягає у їх складі та теплотворній здатності.

Для нашого випадку оберемо природний газ, та розглянемо тенденцію зміни його граничної ціни на 1000 м³, що встановлюється Національною комісією з регулювання енергетики (НКРЕ). Вибір саме природного газу пояснюється простотою його отримання заводом, адже заводи по виробництву скла і так використовують його на основні технологічні процеси, а для використання підприємством інших видів газу, необхідні додаткові затрати часу та коштів. Звичайно при використанні інших видів газу економія буде більшою, адже їх вартість нижча.

Витрата природного газу в когенераційній установці складає до 0,3 м³ на 1 кВт·год. Зміну ціни за останні півтора роки на природний газ представлено на рисунку 2.3.

Рисунок 2.3 – Графік зміни граничної ціни на природний газ для промислових споживачів

5. Витрата масла на 1 кВт·год та його вартість.

Постачання та заміну масла ми включили у вартість обслуговування.

Сонячна електрична установка

Фактори що впливатимуть на величину затрат на вироблення 1 кВт·год електричної енергії сонячною електроустановкою:

1. Вартість сонячної електроустановки і її компонентів.

Ціна на фотоелектричний модуль дуже різноманітна, що пояснюється різними виробниками, технічними характеристиками, номінальною потужністю, допоміжними властивостями елементів модулю, властивостями його покриття та іншим.

Для дослідження оберемо фотоелектричний модуль потужність 160 Вт, та напругою 24 В, ціни котрого змінюються в межах: 500-900\$ (KV-160W/24V).

Вартість такого допоміжного обладнання, як контролер заряду, акумуляторні батареї, інвертор та затрати на монтаж залежать в першу чергу від сумарної потужності фотоелектричних модулів. Чим менша ця потужність, тим більшу частку в затратах на систему займає допоміжне обладнання, ця частка лежить в межах 40-70%.

2. Величина сонячної радіації притаманна місцевості в якій встановлена СЕУ.

Для прикладу, представимо кількість сонячної енергії на 1 м² поверхні для Запорізької області, по місяцям на рисунку 2.4.

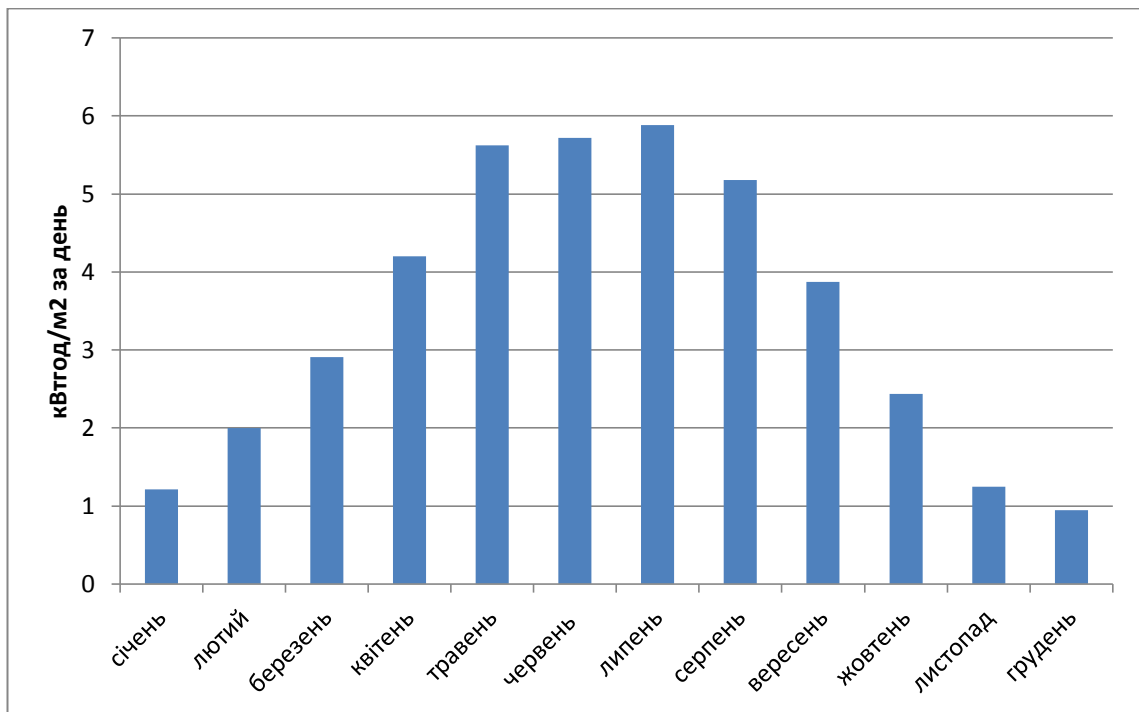


Рисунок 2.4 – Залежність кількості сонячної радіації, що потрапляє на 1 м² поверхні, від місяців року

3. Термін експлуатації СЕУ.

Термін служби акумуляторних батарей до 10 років, контролеру заряду не менше 10 років, а фотоелектричних модулів 25 років.

4. Вартість обслуговування та ремонту СЕУ.

СЕУ не потребують великих затрат на обслуговування при правильній експлуатації системи. Прийmemo питомі річні експлуатаційні затрати рівними 1% від величини основних фондів системи.

Вітроелектрогенеруюча установка

Фактори що впливатимуть на величину грошових затрат на вироблення 1 кВт·год електричної енергії вітровою електроустановкою:

1. Вартість вітроелектрогенеруючої установки.

За даними статистики для автономних ВЕУ наближена питома вартість номінальної потужності дорівнює 1400 \$ за 1 кВт номінальної потужності, без врахування вартості акумуляуючих пристроїв [29].

Кількість, а отже і вартість акумуляторів буде залежати від режиму використання їх накопиченої енергії, та процесу їх зарядки. Для нашого

випадку, оскільки енергія постійно виробляється і споживається, вартість акумуляторних батарей може складати 25% від вартості ВЕУ.

2. Швидкість вітрового потоку притаманна місцевості в якій встановлена ВЕУ.

Для аналізу даного потенціалу вітру розглянемо усереднений графік швидкість вітру для Запорізької області за 2010 рік по годинам доби (рисунок 2.5).

3. Термін експлуатації ВЕУ та її допоміжного обладнання.

Термін експлуатації ВЕУ складає 25-30 років, а акумуляторних батарей, як зазначалося вище, 10-15 років.

4. Вартість обслуговування ВЕУ.

Питомі річні експлуатаційні затрати складають до 2 % від вартості основних фондів [30].

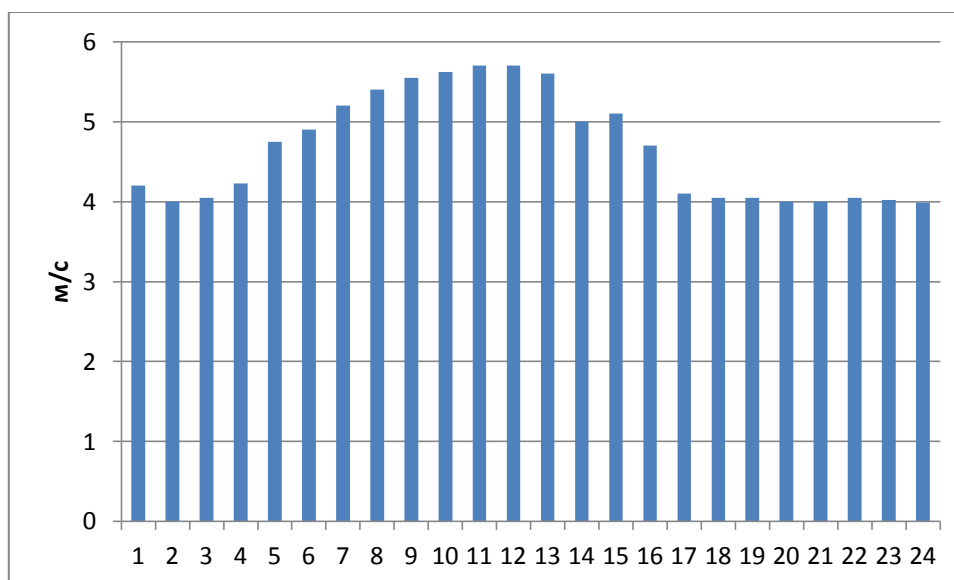


Рисунок 2.5 – Графік усередненої швидкості вітру в залежності від години доби, для Запорізької області

2.3 Модулювання графіків навантаження підприємства

Розглянемо графіки споживання для усіх наявних технологічних процесів. Для цього використаємо таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік типових споживачів та їх характеристики, для заводу по виготовленню будівельного скла

Назва споживача або процесу	Кількість установок, шт	Коефіцієнт використання, K_B	Номинальна потужність, кВт	Сумарна розрахована потужність, кВт
Силосна вежа	4	0,3	2,0	2,4
Конвеєр до змішувача	1	0,5	5,0	2,5
Змішувач	1	0,2	20,0	4,0
Конвеєр до накопичувача	1	0,5	2,0	1,0
Дозована подача битого скла на конвеєр	1	0,5	4,0	2,0
Ритмічна подача з бункера в піч	1	1,0	6,0	6,0
Допоміжні процеси газової печі	1	1,0	140,0	140,0
Допоміжні процеси ванни з оловом	1	1,0	90,0	90,0
Конвеєр до печі загартовування	1	1,0	12,0	12,0
Піч загартовування	1	1,0	300,0	300,0
Конвеєр від печі загартовування до пункту контролю	1	1,0	16,0	16,0
Різання скла	1	0,8	20,0	16,0
Приймачі скла	2	0,6	12,0	14,4
Збір обрізного скла в бункер склобою	2	1,0	3,0	6,0
Дроблення склобою	1	0,5	11,0	5,5
Автоматичне розміщення скла на складі	2	0,7	10,0	14,0
Піч вакуумного ламінування	1	0,8	95,0	76,0

Отже процес виготовлення будівельного скла опишемо послідовно, та розглянемо графіки споживання електричної енергії кожним етапом виробництва.

На типовому заводі використовуються чотири силосні вежі, а саме для кварцового піску, окису кальцію, соди, магнію. Дозовані матеріали з силосних веж висипаються на конвеєр, який транспортує їх до змішувача.

В змішувачі проходить процес змішування кварцового піску, окису кальцію, соди та магнію. Зі змішувача суміш потрапляє на конвеєр, котрий транспортує її до накопичувального бункера.

На конвеєр, котрий транспортує суміш матеріалів до накопичувального бункера, дозовано подається склобій, отриманий в процесі виготовлення скла.

Процеси описані вище мають перерви в режимі роботи, це зумовлено об'ємом бункера, більшим ніж необхідно для завантаження печі, тому годину обладнання працюють на заповнення бункеру до максимуму, а наступну годину не працюють.

З накопичувального бункеру постійно відбувається ритмічна подача шихти в піч. Споживання енергії піччю, зумовлене допоміжними процесами такими як: перемішування, робота насосів, додатковий технологічний підігрів і т.д. Після печі, розплавлене скло постійно виливається у ванну з розплавленим оловом. Допоміжні механізми у ванні з оловом: нагрівачі, розтягуючі ролики, обмежувачі і т.д. є споживачами електричної енергії. Після ванни з оловом сформована стрічка скла потрапляє на конвеєр, котрий транспортує стрічку до печі загартування. По конвеєру стрічка скла потрапляє до печі загартування.

Після печі загартування скло потрапляє на довгий конвеєр, котрий доставляє скло аж до пункту прийому. Підчас переміщення скла цим конвеєром, на певному етапі відбувається його різка, а наприкінці конвеєра готові листи знімають приймачі скла. Паралельно з різанням скла відбувається збір обрізного скла.

Також на заводі існують технологічні процеси котрі мають періодичний режим роботи та не дуже прив'язані до основного

технологічного процесу, а саме: процес дроблення склобою, робота печі вакуумного ламінування та автоматичне розміщення скла на складі.

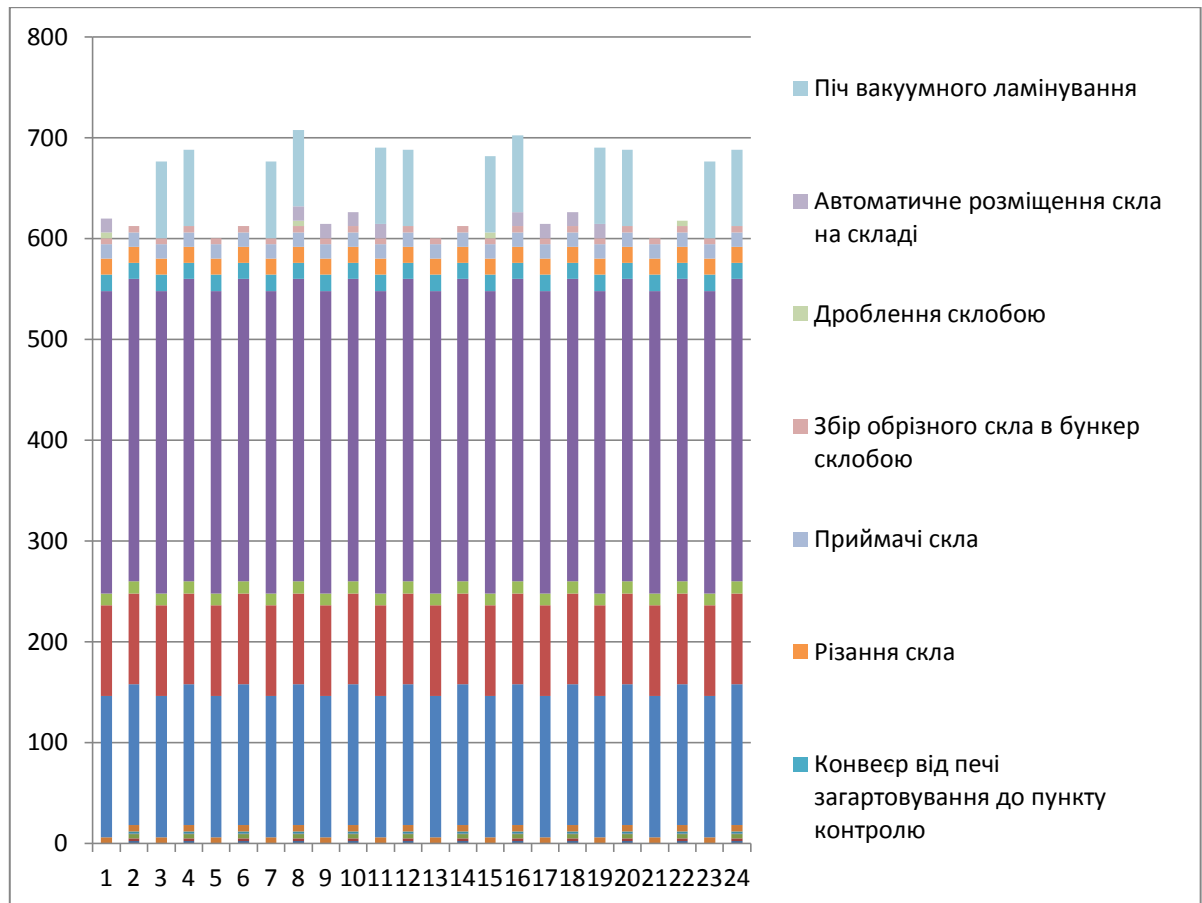


Рисунок 2.6 – Графік споживання електричної енергії основними технологічними процесами заводу по виготовленню будівельного скла

Отже були описані усі процеси енергоспоживання типового заводу по виготовленню скла-флоат і ми можемо привести приклад добового графіку споживання електричної енергії на рисунку 2.6.



Рисунок 2.7 – Добовий графік електричного навантаження підприємства

Зрозуміло, що графік споживання для заводу по виготовленню скла-флоат також має містити споживання електричної енергії системою освітлення, вентиляційною системою, та іншими додатковими споживачами, що встановлені на території заводу, але ми їх в даній роботі не враховуватимемо, тому, що для кожного підприємства графік та величина споживання цими системами буде мати свій характер. Так як тип системи освітлення, кількісна величина споживання освітлюваними пристроями, тип системи вентиляції, системи опалення та інше це дуже індивідуальні параметри для кожного промислового споживача, то проектується вони по власним схемам.

З графіка видно, що максимум навантаження підприємства частково припадає на години максимуму об'єднаної енергосистеми в цілому, та що у нічний час спостерігається відсутність деяких процесів.

Ці явища пояснюються трьохзмінним режимом роботи заводу та тим, що вночі задіяно менше робочого персоналу. Як бачимо, на початку зміни спостерігається значне підвищення споживання електроенергії. Це пояснюється організацією робочого процесу, але зрозуміло, що деякі

процеси на виробництві можливо змістити в часі та задіяти рівномірну кількість персоналу протягом усієї доби.

Нажаль, в більшість процесів вироблення скла втручання неможливе, оскільки зупинка деяких процесів може призвести до величезних втрат та виходу з ладу найголовнішого устаткування – печі та ванни відливу.

Ми розглянули графік споживання, який формують елементи технологічного процесу виробництва скла-фLOAT, та не розглядали допоміжні системи такі як опалення, освітлення, вентиляція та інше, тому що ці системи мають індивідуальний характер для кожного підприємства.

Висновки

1. Технологічні процеси енергоспоживання у скляній промисловості характеризуються незначною нерівномірністю споживання електричної енергії протягом доби. Підприємства галузі скляної промисловості працюють 24 години на добу.

2. Після дослідження технологічних процесів виготовлення скла-фLOAT можна зробити висновок, що процес виготовлення характеризується безперервністю і зупинка хоч однієї ланки що працює в цьому режимі може призвести до величезних втрат та виходу з ладу обладнання, тому необхідно в роботі приділити увагу цій особливості.

3. Проведений аналіз графіку електроспоживання дозволив виявити основні енергоємні технологічні процеси, закономірності формування електроспоживання та створити графік споживання основними технологічними процесами підприємства для подальших дій.

4. Виходячи з аналізу технологічного процесу та характеру споживачів даного виробництва можна зробити висновок, що до деяких технологічних процесів можна застосувати зміщення в часі з метою оптимізації електроспоживання.

3 РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ СКЛЮ-ГЕНЕРУЮЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

Комплексна електроенергетична система заводів скляної промисловості має можливість споживати електроенергію від:

- об'єднаної енергосистеми України (ОЕС);
- вітроенергетичної установки (ВЕУ) через накопичувачі електричної енергії;
- сонячної енергетичної установки (СЕУ) через накопичувачі електричної енергії;
- когенераційної електричної установки (КЕУ).

Ці складові комплексної електроенергетичної системи можуть працювати у паралельному, послідовному або послідовно-паралельних режимах. При паралельному режимі електроенергію виробляють одночасно всі складові, або частина їх. При послідовному режимі електроенергію виробляють поперемінно ВЕУ, СЕУ, КЕУ та споживання від системи централізованого електропостачання.

Основною задачею при створенні алгоритмів управління комплексною електроенергетичною системою (КЕЕС), є оптимізація технологічних процесів вироблення електроенергії ВЕУ, СЕУ, КЕУ та електроспоживанням від енергосистеми, перерозподіл між ними потужності, акумулювання надлишкової енергії.

Фактори що характеризують оптимальність використання різних джерел енергії (нетрадиційних, відновлюваних):

- якість електричної енергії від КЕЕС;
- собівартість електричної енергії від різних елементів КЕЕС;
- можливість управління системою в часі для повного забезпечення споживачів потужністю та ін.

3.1 Оптимізація розподілу навантаження об'єкту електровикористання

В залежності від навантаження необхідно розподілити потужність, задав пріоритет генератору, в залежності від його розташування. Якщо певний генератор не має достатньої потужності, то система імітації доповнює необхідну енергію від найближчого генератору.

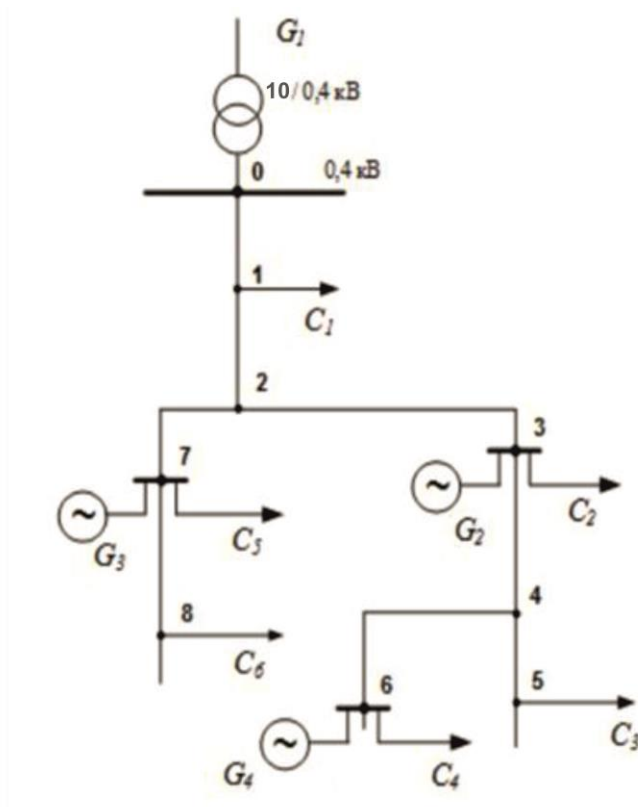


Рисунок 3.1 - Схематичне зображення розподіленого навантаження та електропостачання скляного підприємства, де G_{1-4} – генератори, C_{1-6} – споживачі

Споживачі електричної енергії на підприємстві представлені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Назва споживача або процесу	Позначення	Кількість установок, шт	Коефіцієнт використання, K_B	Номінальна потужність, кВт	Сумарна розрахункова потужність, кВт
Силосна вежа	C_1	4	0,3	2,0	2,4
Конвеєр до змішувача		1	0,5	5,0	2,5
Змішувач		1	0,2	20,0	4,0
Конвеєр до накопичувача		1	0,5	2,0	1,0

Продовження таблиці 3.1

Дозована подача битого скла на конвеєр		1	0,5	4,0	2,0
Ритмічна подача з бункера в піч		1	1,0	6,0	6,0
Допоміжні процеси газової печі	C_2	1	1,0	140,0	140,0
Допоміжні процеси ванни з оловом	C_3	1	1,0	90,0	90,0
Конвеєр до печі загартовування	C_4	1	1,0	12,0	12,0
Піч загартовування		1	1,0	300,0	300,0
Конвеєр від печі загартовування до пункту контролю	C_5	1	1,0	16,0	16,0
Різання скла		1	0,8	20,0	16,0
Приймачі скла		2	0,6	12,0	14,4
Збір обрізного скла в бункер склобою		2	1,0	3,0	6,0
Дроблення склобою		1	0,5	11,0	5,5
Автоматичне розміщення скла на складі		2	0,7	10,0	14,0
Піч вакуумного ламінування	C_6	1	0,8	95,0	76,0

Умовні позначення генераторів:

G_1 - централізованого електропостачання

G_2 - сонячна електрична установка (СЕУ),

G_3 - вітрогенеруюча установка(ВЕУ),

G_4 - когенераційна установка (КЕУ)

Якщо розглянути задачу оптимізації на прикладі мережі (рисунок 3.1), що складається з n генераторів та m споживачів електроенергії, втрати при передачі електроенергії тим більші, чим більше відстань від генератору до споживача[2].

З формули (1.9) знаходимо обмеження на споживання та генерацію електроенергії

Визначення невідомих величин для задачі представлено в таблиці 3.2

Обмеження на споживання, кВт:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \leq 17,9$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \leq 140$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} \leq 90$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} \leq 312$$

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} \leq 71,9$$

$$x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} \leq 76$$

Обмеження на генерацію, кВт:

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} \geq 607,68$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} \geq 10,8$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} \geq 17,28$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} \geq 84,24$$

Таблиця 3.2

Генератори	Споживачі						Сумарна генерація, кВт
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	
G ₁	c ₁₁	c ₂₁	c ₃₁	c ₄₁	c ₅₁	c ₆₁	607,68
G ₂	c ₁₂	c ₂₂	c ₃₂	c ₄₂	c ₅₂	c ₆₂	10,8
G ₃	c ₁₃	c ₂₃	c ₃₃	c ₄₃	c ₅₃	c ₆₃	17,28
G ₄	c ₁₄	c ₂₄	c ₃₄	c ₄₄	c ₅₄	c ₆₄	84,24
Сумарне споживання	17,9	140	90	312	71,9	76	

В таблиці 3.3 приведені обмеження на споживання та генерацію, а також коефіцієнти втрат при передачі одиниці електроенергії, задані по умовам розміщення об'єктів

Таблиця 3.3

Генератори	Споживачі						Сумарна генерація, кВт
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	
G ₁	0,05	0,17	0,09	0,05	0,14	0,3	607,68
G ₂	0,03	0,04	0,1	0,07	0,03	0,022	10,8
G ₃	0,09	0,06	0,07	0,009	0,04	0,02	17,28
G ₄	0,1	0,14	0,04	0,18	0,07	0,04	84,24
Сумарне споживання	17,9	140	90	312	71,9	76	

Відповідно до (1.8) цільова функція:

$$F(x) = 0,05 \cdot x_{11} + 0,03 \cdot x_{12} + 0,09 \cdot x_{13} + 0,1 \cdot x_{14} + 0,17 \cdot x_{21} + 0,04 \cdot x_{22} + 0,06 \cdot x_{23} + 0,14 \cdot x_{24} + 0,09 \cdot x_{31} + 0,1 \cdot x_{32} + 0,07 \cdot x_{33} + 0,04 \cdot x_{34} + 0,05 \cdot x_{41} + 0,07 \cdot x_{42} + 0,009 \cdot x_{43} + 0,18 \cdot x_{44} + 0,14 \cdot x_{51} + 0,03 \cdot x_{52} + 0,04 \cdot x_{53} + 0,07 \cdot x_{54} + 0,3 \cdot x_{61} + 0,022 \cdot x_{62} + 0,02 \cdot x_{63} + 0,04 \cdot x_{64}$$

Отримали вихідну умову для вирішення *транспортної задачі*[3].

Розв'язок

Розрахунок проведено в програмному середовищі Python 3.6 v.2015 (бібліотека Pandas for Science Calculation). Код програми представлений у додатку А.1.

Використовуючи метод *північно-західного кута* побудуємо опорний план транспортної задачі. Результат представлено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

	$v_1=0,5$	$v_2=0,5$	$v_3=0,5$	$v_4=0,5$	$v_5=0,5$	$v_6=0,5$	$v_7=0,5$
$u_1=0$	0,05[18]	0,17[112]	0,09[90]	0,05[312]	0,14[64]	0,3	0,05[12]
$u_2=-1,3$	0,03	0,04[11]	0,1	0,07	0,03	0,022	0,03
$u_3=-1,1$	0,09	0,06[17]	0,07	0,009	0,04	0,02	0,09
$u_4=-0,7$	0,1	0,14	0,04	0,18	0,07[8]	0,04[76]	0,1

Опорний план є оптимальним, так як усі оцінки вільних клітин задовольняють умові $u_i + v_j \leq c_{ij}$

Мінімальні витрати потужності складуть $F(x) = 0,05 \cdot 12 + 0,17 \cdot 112 + 0,09 \cdot 90 + 0,05 \cdot 312 + 0,14 \cdot 64 + 0,05 \cdot 12 + 0,04 \cdot 11 + 0,06 \cdot 17 + 0,07 \cdot 8 + 0,04 \cdot 76 = 57,7$ кВт

Оптимальний розподіл представлений у вигляді графа на рисунку 3.2

В таблиці 3.5 представлені параметри локального сегменту системи електропостачання. В даному випадку розрахункові значення навантаження окремих ділянок мережі визначено в режимі споживання електричної енергії від одного джерела – зовнішньої енергосистеми.

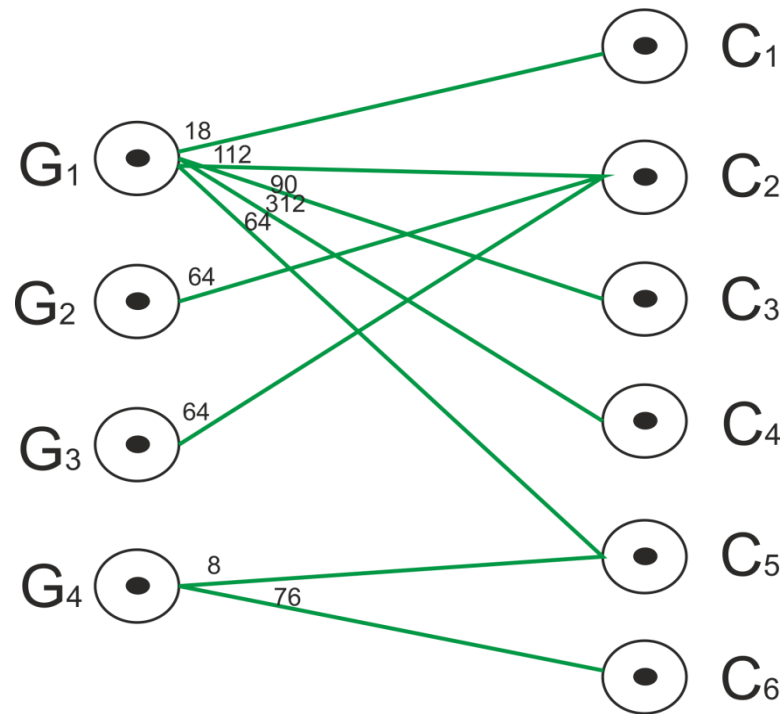


Рисунок 3.2 Оптимальний розподіл потужності мережі скляного підприємства при мінімізації втрат потужності

Таблица 3.5

[illegible]

3.2 Оптимізація режимів роботи навантаження за рахунок керування ціною генерації та споживання електричної енергії

Важливе значення в оптимізації споживання електричної енергії є зниження грошових затрат за умовну одиницю енергії. Цього зниження можна досягти за допомогою власних генераторних потужностей, для яких затрати на вироблення 1 кВт·год електричної енергії менші за ціну встановлену на ринку України.

Для визначення величини затрат на вироблення 1 кВт·год електричної енергії різними видами електроустановок або на покупку її від ОЕС, необхідно розглянути всі фактори, що впливатимуть на дані затрати.

Ціна на електричну енергію від мережі централізованого електропостачання постійно підвищується та залежить від багатьох факторів, наприклад, від цін на первинні енергоносії, сезонної зміни структури виробництва електроенергії. Отже розглянемо ціни без ПДВ за останні роки. Для цього побудуємо графік цін за 2017/2018 роки:

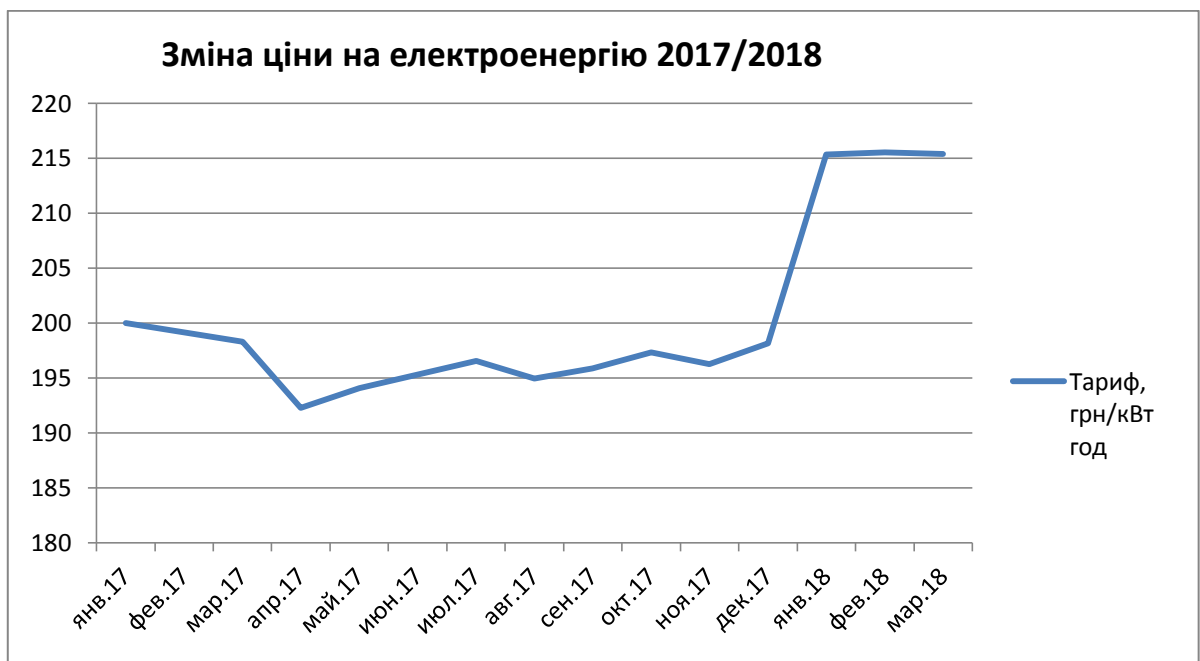


Рисунок 3.3 – Графік зміни ціни електричної енергії для споживачів (крім населення) по 2-му класу напруги, без ПДВ [12].

З рисунку 3.3 видно, що зростання тарифу має лінійний характер, а отже ми можемо з певною мірою точності прогнозуватимемо ріст тарифу на майбутній період для подальших розрахунків.

Ціна за використану електричну енергію від мережі централізованого електропостачання також залежить від обраного тарифу для розрахунків з електропостачальною компанією.

В Україні функціонує гнучка система тарифів [13]. Основним є одноставочний тариф. При наявності відповідних приладів обліку споживачі мають можливість розраховуватися за спожиту енергію по зонах доби. Крім того, фіксується договірна величина електричної потужності протягом розрахункового періоду в години контролю максимуму навантаження енергосистеми. Різниця перевищення договірної величини електроспоживання оплачується за регульованим тарифом відповідно до договору.

При дефіциті потужності електроенергетичної системи, незалежно від обраного споживачем тарифу, енергопостачальною організацією встановлюються обмеження по потужності.

Система тарифів на електроенергію, що застосовується в Україні, стимулює споживача до управління режимами електроспоживання.

Для потужних споживачів тарифи узгоджуються в рамках певних умов між енергопостачальною фірмою та клієнтами. При цьому виходять переважно із ціни за потужність. Загальна ж ціна складається із ціни за потужність, що, як правило, визначається як використана й підтверджена вимірами потужність, а також із ціни що платиться за спожиту енергію. Потужність розраховується на рік або на місяць. Вимірювання потужності виконуються кожні 15 або 30 хвилин.

Ціна потужності може визначатися і на основі замовленої потужності. При цьому передбачаються особливі надбавки на величину потужності, що перевищила замовлену.

Представимо SWOT аналіз систем тарифів для скляної промисловості в таблиці 3.6.

3.3 Змішана багатокритеріальна оптимізація системи електропостачання підприємства

Постановка задачі до якої розроблюватиметься математична модель є дуже важливим етапом при даному дослідженні. Наша головна задача є розробка математичної моделі для багатокритеріальної оптимізації вироблення електричної енергії комплексною електроенергетичною системою.

Критерієм оптимізації в цьому разі можуть виступати різні фактори, наприклад:

- підвищення надійності електропостачання;
- зниження затрат на одиницю спожитої електроенергії;
- зниження сумарних затрат на енергоносії та електричну енергію;
- підвищення якості електрозабезпечення;
- визначення доцільності використання власних генеруючих потужностей та ін.

В даному дослідженні використаємо критерієм оптимізації зниження сумарних затрат на електричну енергію спожиту підприємством за певний період часу.

Як зазначалося вище, складовими КЕЕС є ВЕУ, СЕУ, КЕУ та об'єднана енергосистема. Для побудови математичної моделі необхідно дослідити зв'язки між цими елементами, внутрішні та зовнішні фактори, що впливають на функціонування системи (рисунок 2.3).

Внутрішніми факторами системи визначимо такі параметри: функція перетворення енергії джерела в електричну енергію, максимальна потужність установки або конструктивний параметр що характеризуватиме вихідну потужність та інше.

Зовнішніми факторами системи визначимо як контрольовані так і неконтрольовані подачі носія енергії котрий використовується установкою.

Основними економічними показниками системи визначимо питомі затрати на той чи інший ресурс системи.

У загальному випадку цільова функція математичної моделі має вигляд:

$$V(T) = \int_{t_0}^T \sum_{i=1}^5 c_i \cdot y_i(t) dt \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

де c_i – питома вартість одиниці електричної енергії від i -го елемента;
 $y_i(t)$ – кількість одиниць електричної енергії отриманої від i -го елемента.

Опишемо зв'язок між функціями входу, виходу та внутрішніми параметрами системи для елементів схеми без акумуляторних пристроїв:

$$y_i(t) = f_i(x_i(t), n_i) \cdot \alpha_i(t), \quad (3.2)$$

де f_i – функція перетворення енергії джерела в електричну енергію вироблену i -тим елементом.

Для подальшої побудови математичної моделі зробимо припущення, що відомі мінімально та максимально допустимий заряд акумуляторних елементів:

$$z_{\min i} \leq z_i(t) \leq z_{\max i}, \quad (3.3)$$

де $z_{\min i}$ – мінімально допустимий заряд i -того акумуляторного елемента;

$z_{\max i}$ – максимально допустимий заряд i -того акумуляторного елемента;

Таблиця 3.6 – SWOT-аналіз систем тарифів.

Одноставочні тарифи				
Тип тарифної системи	Сильні сторони	Слабкі сторони	Можливості	Загрози
1) за приєднанням навантаженням $C=P_{np} \cdot a$ $C=M_{np} \cdot c$	Простота розрахунку. Немає необхідності в пристроях обліку.	Неможливість оцінки реального споживання. Не стимулює споживача зменшувати навантаження в години максимуму	Не потрібні пристрої обліку. Придатний для тимчасового обліку.	Перевитрата енергії (зловживання). Не використовується в дефіцитних енергосистемах.
2) прогресивний чи прямий за лічильником $C=W \cdot b$	Простота обліку і розрахунку за електричну енергію.	Не враховує максимум споживання і тарифні зони доби. Відсутність впливу на графік споживання і максимальну потужність.	Придатний для дрібних споживачів, Простота контролю і обмеження споживання по лічильнику.	При великій максимальній потужності негативний внесок в пік енергосистеми. Не використовується в дефіцитних енергосистемах.
3) регресивний чи ступеневий за лічильником $W_1 < W < W_2 \quad C=W \cdot b_1$ $W_2 < W < W_3 \quad C=W \cdot b_2$ $W_3 < W < W_4 \quad C=W \cdot b_3$ 1.1 $b_1 > b_2 > b_3$ 1.2 $b_1 < b_2 < b_3$	Можливість ефективного впливу на об'єми споживання. Стимулює високе споживання.	Відсутність впливу на графік споживання і максимальну потужність. Не враховує часові зони. Складність визначення зон	Використання при надлишку електроенергії в системі. Регулювання споживання.	Не враховує максимальну потужність. Не можна застосовувати в дефіцитній енергосистемі.
4) диференційований за лічильником $C=b_1 \cdot W_1 + b_2 \cdot (W_2 - W_1) + \dots + b_n \cdot (W_n - W_{n-1})$	Можливість ефективного впливу на обсяг споживання. Стимулює раціональне електровикористання. Доцільний для великих споживачів.	Відсутність впливу на графік споживання і максимальну потужність. Не враховує часові зони. Складність приладів.	Можливість керування попитом на електроенергію.	Не враховує максимальну потужність.

Продовження таблиці 3.6

5) диференційований за періодами часу $C = b_1 \cdot W_1 + b_2 \cdot W_2 + b_3 \cdot W_3$	Участь споживача у вирівнюванні графіка навантаження. Об'єктивність відображення витрат на генерацію.	Складність систем обліку.	Згладжування нерівномірності добового графіка. Використання для великих споживачів.	Незацікавленість споживачів в запровадженні.
Двоставочні тарифи				
Тип тарифної системи	Сильні сторони	Слабкі сторони	Можливості	Загрози
1) з основною платою за приєднану чи встановлену потужність $C = a \cdot P_{вст} + b \cdot W$	Врахування максимальної потужності. Прості прилади обліку.	Не враховує часові зони. Відсутність впливу на графік споживання.	Придатний для використання на дрібних підприємствах при великому коефіцієнті заповнення ГН.	Можливе велике пікове навантаження. Зміна приєднаної потужності
2) з основною платою за заявлену потужність $C = a \cdot P_{з. max} + b \cdot W$	Реальне відображення максимальної потужності.	Споживання в години максимуму. Необхідність подачі заявок споживачем на максимальну потужність	Використання на великих підприємствах при низькому коефіцієнті заповнення. Прогнозування споживання ел. енергії	Участь у максимумі, незацікавленість споживачів.
3) з основною платою за максимальну потужність $C = a \cdot P_{max} + b \cdot W$	Можливість не заявляти споживачу максимальну потужність.	Відсутність впливу на графік споживання.	Можливість прогнозування споживання електроенергії.	Участь у максимумі. Приводить до збільшення гарячого резерву електростанцій.

Опишемо зв'язок між функціями входу, виходу та внутрішніми параметрами системи для елементів схеми з акумуляторними пристроями:

$$y_i(t) = (z_i(t) - z_{\min}) \cdot \alpha_i(t), \quad (3.4)$$

$$z_i(t) = z_i(t-1) + f_i(x(t), n_i) \cdot \alpha_i(t), \quad (3.5)$$

де $z_{0i}(t)$ – запас енергії акумуляторної батареї на початок даного проміжку часу.

Для опису виходу для елементу $i=1$, а саме енергосистеми, використаємо рівняння:

$$y_1(T) = \int_{t_0}^T (S(t) - y_2(t) - y_3(t) - y_4(t) - y_5(t)) dt, \quad (3.6)$$

Конкретизуємо вхідний сигнал елементів $i=2,3,4,5$:

$x_2(t)$ – питома інтенсивність споживання електроенергії;

$x_3(t)$ – питома інтенсивність споживання палива (газу);

$x_4(t)$ – швидкість потоку вітру в кліматичному районі розташування ВЕУ;

$x_5(t)$ – інтенсивність сонячного випромінювання в кліматичному районі розташування СЕУ.

Оскільки підприємства які виробляють будівельне скло працюють безперервно, найбільш оптимальним тарифом на електричну енергію від енергосистеми може бути одноставочний трьохзонний тариф, котрий розбиває добу на зону піку, пів піку та нічну.

Розглянемо складові вартісної оцінки електричної енергії отриманої від i -го елемента:

- для електроенергії від об'єднаної енергосистеми України:

$$c_1(t) = \begin{cases} c \cdot k_{\text{пп}}, & \text{для } t \in T_{\text{пп}} \\ c \cdot k_{\text{п}}, & \text{для } t \in T_{\text{п}} \\ c \cdot k_{\text{н}}, & \text{для } t \in T_{\text{н}} \end{cases}, \quad (3.7)$$

де c – тарифна ставка на електроенергію від об'єднаної енергосистеми,

$k_p, k_{пп}, k_n$ – тарифні коефіцієнти одноставочного трьохзонного тарифу в часових зонах відповідно піку T_p , пів піку $T_{пп}$ та ночі T_n .

- для електроенергії від КЕУ, та інших станцій котрі використовують процес згорання палива:

$$c_i = c_{y.i} + c_{o.i}(t) + c_{нал.i}(t), \quad (3.8)$$

де $c_{y.i}$ – питома вартість установки;

$c_{o.i}$ – питома вартість обслуговування установки;

$c_{нал.i}$ – питома вартість палива, що використовується установкою на вироблення електричної енергії.

- для електроенергії від СЕУ та ВЕУ, та інших станцій котрі використовують безкоштовне джерело енергії:

$$c_i = c_{y.i} + c_{д.о.i} + c_{o.i}(t), \quad (3.9)$$

де $c_{y.i}$ – питома вартість установки (ВЕУ, СЕУ або інших установок котрі перетворюють безкоштовне джерело енергії в електричну енергію);

$c_{д.о.i}$ – питома вартість додаткового обладнання, котре необхідне для забезпечення можливості використання виробленої енергії генеруючою установкою (інвертори, акумулятори та інше);

$c_{o.i}$ – питома вартість обслуговування установки та додаткового обладнання.

Для побудови математичної моделі, зробимо припущення що нам відома величина потреби споживача в електроенергії, а саме – $S(t)$.

Розв'язування задач такого типу у загальному вигляді невідоме, тому отриману модель слід перетворити до виду, прийнятного для використання відомих методів, алгоритмів, програм. Скористаємося адитивною властивістю інтеграла [16]:

$$\int_{t_0}^T f(t)dt = \sum_{m=1}^M \int_{t_{m-1}}^{t_m} f(t)dt = \sum_{m=1}^M f_m \cdot (t_m - t_{m-1}) = \sum_{m=1}^M f_m \cdot \Delta t. \quad (3.10)$$

Таким чином, якщо інтервал функціонування системи розбити на рівні частини тривалістю Δt (у свою чергу, таку тривалість легко звести

до "одиничної" - $\Delta t = 1$, вважаючи "одиницею" рік, квартал, місяць, тиждень, день, годину, тощо) та здійснити апроксимацію функцій їх усередненими значеннями на проміжках поділу, то сформовану вище математичну модель можна подати у вигляді:

$$V(T) = \sum_{n=1}^N (c_{1n} \cdot y_{1n} + c_{2n} \cdot y_{2n} + c_{3n} \cdot y_{3n} + c_{4n} \cdot y_{4n} + c_{5n} \cdot y_{5n}) \rightarrow \min, \quad (3.11)$$

$$y_{1n} = S_n - y_{2n} - y_{3n} - y_{4n} - y_{5n}, \quad (3.12)$$

$$y_{2n} = f_2(x_{2n}, n_2) \cdot a_{2n}, \quad (3.13)$$

$$y_{3n} = f_3(x_{3n}, n_3) \cdot a_{3n}, \quad (3.14)$$

$$z_{\min 4} \leq z_{4n} \leq z_{\max 4}, \quad (3.15)$$

$$z_{\min 5} \leq z_{5n} \leq z_{\max 5}, \quad (3.16)$$

$$y_{4n} = (z_{4n} - z_{\min 4}) \cdot a_{4n}, \quad (3.17)$$

$$y_{5n} = (z_{5n} - z_{\min 5}) \cdot a_{5n}, \quad (3.18)$$

$$z_{4n} = z_{4(n-1)} + f_4(x_{4n}, n_4), \quad (3.19)$$

$$z_{5n} = z_{5(n-1)} + f_5(x_{5n}, n_5), \quad (3.20)$$

$$S_n - y_{2n} - y_{3n} - y_{4n} - y_{5n} \geq 0. \quad (3.21)$$

Отже, математична модель містить один критерій оптимізації та дев'ять обмежень. Тому проведемо подальше спрощення моделі. Для цього розглянемо рівняння виходу елементів.

Вважаючи відомою функціональну залежність виходу елементу від вхідних параметрів та внутрішніх характеристик, застосуємо такі додаткові параметри, як:

k_i – коефіцієнт корисної дії процесу перетворення енергетичного ресурсу, що подається на вхід елементу, в енергію виходу елементу;

n_i – конструкційні особливості елементу, наприклад:

- для СЕУ це може бути сумарна потужність всіх встановлених фотоелектричних модулів або їх сумарна площа;
- для ВЕУ це може бути номінальна потужність установки або площа крила вітрової установки;
- для КЕУ це може бути номінальна потужність установки.

Отже виходячи з вище сказаного, запишемо:

$$y_{2n} = k_2 \cdot x_{2n} \cdot n_2 \cdot a_{2n}, \quad (3.22)$$

$$y_{3n} = k_3 \cdot x_{3n} \cdot n_3 \cdot a_{3n}. \quad (3.23)$$

Для забезпечення можливості накопичення електричної енергії на акумуляторних батареях, та використання цього накопичення у найоптимальніший час, застосуємо вирази:

$$y_{4n} = (z_{4(n-1)} + k_4 \cdot x_{4n} \cdot n_4 - z_{\min 4}) \cdot a_{4'n} + k_4 \cdot x_{4n} \cdot n_4 \cdot a_{4''n}, \quad (3.24)$$

$$y_{5n} = (z_{5(n-1)} + k_5 \cdot x_{5n} \cdot n_5 - z_{\min 5}) \cdot a_{5'n} + k_5 \cdot x_{5n} \cdot n_5 \cdot a_{5''n}. \quad (3.25)$$

Та додаткові обмеження:

$$a_{4'} + a_{4''} \leq 1, \quad (3.26)$$

$$a_{5'} + a_{5''} \leq 1. \quad (3.27)$$

Взявши до уваги всі спрощення описані вище, запишемо цільову функцію у вигляді:

$$\begin{aligned} V(T) = & \sum_{n=1}^N ((c_{1n} \cdot S_n + (c_{y,2} + c_{o,2n} + c_{нал,2n} - c_{1n}) \cdot x_{2n} \cdot n_2 \cdot k_2 \cdot a_{2n} + \\ & + (c_{y,3} + c_{o,3n} + c_{нал,3n} - c_{1n}) \cdot x_{3n} \cdot n_3 \cdot k_3 \cdot a_{3n} + \\ & + (c_{y,4} + c_{o,4} + c_{o,4n} - c_{1n}) \cdot ((z_{4(n-1)} + k_4 \cdot x_{4n} \cdot n_4 - z_{\min 4}) \cdot a_{4'n} + k_4 \cdot x_{4n} \cdot n_4 \cdot a_{4''n}) + \\ & + (c_{y,5} + c_{o,5} + c_{o,5n} - c_{1n}) \cdot ((z_{5(n-1)} + k_5 \cdot x_{5n} \cdot n_5 - z_{\min 5}) \cdot a_{5'n} + k_5 \cdot x_{5n} \cdot n_5 \cdot a_{5''n})) \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (3.28)$$

З обмеженнями:

$$a_{4'} + a_{4''} \leq 1, \quad (3.29)$$

$$a_{5'} + a_{5''} \leq 1, \quad (3.30)$$

$$z_{4(n-1)} + (1 - a_{4'n} - a_{4''n}) \cdot k_4 \cdot x_{4n} \cdot n_4 \leq z_{\max 4}, \quad (3.31)$$

$$z_{5(n-1)} + (1 - a_{5'n} - a_{5''n}) \cdot k_5 \cdot x_{5n} \cdot n_5 \leq z_{\max 5}, \quad (3.32)$$

$$\begin{aligned} S_n - k_2 \cdot x_{2n} \cdot n_2 \cdot a_{2n} - k_3 \cdot x_{3n} \cdot n_3 \cdot a_{3n} - \\ - ((z_{4(n-1)} + k_4 \cdot x_{4n} \cdot n_4 - z_{\min 4}) \cdot a_{4'n} + k_4 \cdot x_{4n} \cdot n_4 \cdot a_{4''n}) - \\ - ((z_{5(n-1)} + k_5 \cdot x_{5n} \cdot n_5 - z_{\min 5}) \cdot a_{5'n} + k_5 \cdot x_{5n} \cdot n_5 \cdot a_{5''n}) \geq 0. \end{aligned} \quad (3.33)$$

Дана математична модель має дещо спрощений вигляд через те, що коефіцієнт корисної дії процесу перетворення енергетичного ресурсу, що подається на вхід елементу, в енергію виходу елементу, представлений як стала величина, а реально він залежить від інтенсивності подачі енергії на вхід системи:

$$k_{in} = f(x_{in}). \quad (3.34)$$

Для всіх елементів схеми цю залежність можна представити у вигляді:

$$k_{in} = \begin{cases} 0, & \text{при } x_{in} < x_{0i}, \\ ax_{in}^2 + bx_{in} + c, & \text{при } x_{0i} < x_{in} < x_{\max i}, \\ k_{\max}, & \text{при } x_{\max i} < x_{in} < x_{\text{кри}}, \\ 0, & \text{при } x_{in} > x_{\text{кри}}, \end{cases}, \quad (3.35)$$

де a, b – параметри рівняння регресії, що характеризує залежність коефіцієнта корисної дії процесу перетворення енергетичного ресурсу, що подається на вхід елементу, в енергію виходу елементу від питомої витрати вхідного ресурсу;

x_0 – початкове значення питомої витрати вхідного ресурсу при якій установка починає виробляти енергію;

x_n – максимальне значення питомої витрати вхідного ресурсу при якій установка починає виробляти зі сталим коефіцієнтом корисної дії;

$x_{\text{кр}}$ – критичне значення питомої витрати вхідного ресурсу при якій установка припиняє виробляти енергію.

Кожен з елементів системи матиме свої значення параметрів рівняння регресії, та значення початкової, максимальної і критичної питомої витрати палива.

Тоді цільова функція матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
 V(T) = & \sum_{n=1}^N ((c_{1n} \cdot S_n + (c_{y,2} + c_{o,2n} + c_{нал,2n} - c_{1n}) \cdot n_2 \cdot k_{2n}(x_{2n}) \cdot a_{2n} + \\
 & + (c_{y,3} + c_{o,3n} + c_{нал,3n} - c_{1n}) \cdot n_3 \cdot k_{3n}(x_{3n}) \cdot a_{3n} + \\
 & + (c_{y,4} + c_{o,4} + c_{o,4n} - c_{1n}) \cdot ((z_{4(n-1)} + k_{4n}(x_{4n}) \cdot n_4 - z_{\min 4}) \cdot a_{4'n} + k_{4n}(x_{4n}) \cdot n_4 \cdot a_{4''n}) + \\
 & + (c_{y,5} + c_{o,5} + c_{o,5n} - c_{1n}) \cdot (z_{5(n-1)} + k_{5n}(x_{5n}) \cdot n_5 - z_{\min 5}) \cdot a_{5'n} + k_{5n}(x_{5n}) \cdot n_5 \cdot a_{5''n})) \rightarrow \min. \quad (3.36)
 \end{aligned}$$

Дана математична модель направлена лише на оптимізацію затрат на електричну енергію. Щоб збільшити межі оптимізації моделі ми можемо ввести такі додаткові критерії оптимізації, як:

- екологічність установок;
- якість електроенергії від установок;
- надійність електропостачання від установок та інше.

У спрощеному вигляді цільова функція з додатковим критерієм оптимізації матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
 V(T) = & \sum_{n=1}^N (e_1 \cdot c_{1n} \cdot y_{1n} + e_2 \cdot c_{2n} \cdot y_{2n} + e_3 \cdot c_{3n} \cdot y_{3n} + e_4 \cdot c_{4n} \cdot y_{4n} + \\
 & + e_5 \cdot c_{5n} \cdot y_{5n}) \rightarrow \min, \quad (3.37)
 \end{aligned}$$

де e_i – коефіцієнт, що враховуватиме надійність установки та лежить в межах $(0,1)$.

3.4 Модулювання узгоджених графіків електричного навантаження та системи розподіленої генерації підприємства

Моделювання погодинної оптимізації графіків вироблення електричної енергії комплексною електроенергетичною системою, за допомогою математичної моделі яка не враховує додаткові критерії оптимізації:

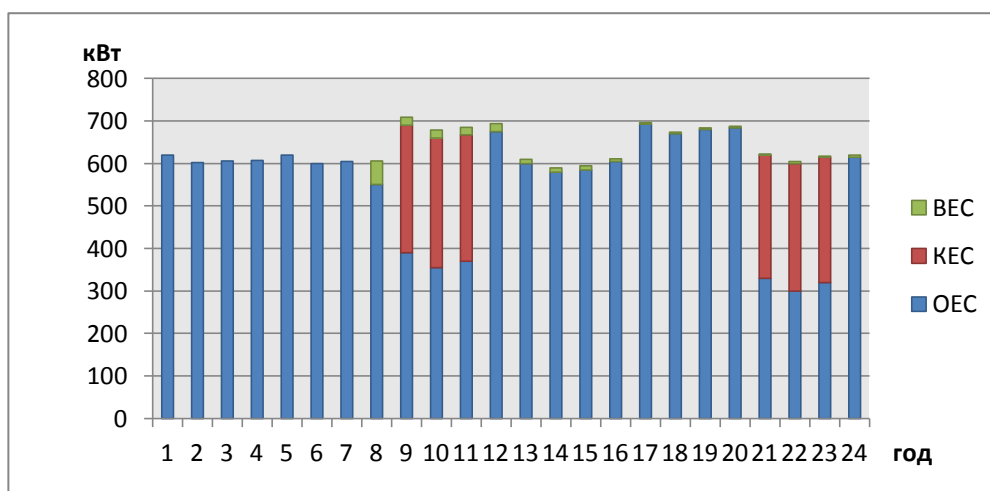


Рисунок 3.5 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у літній період (погодинна оптимізація)

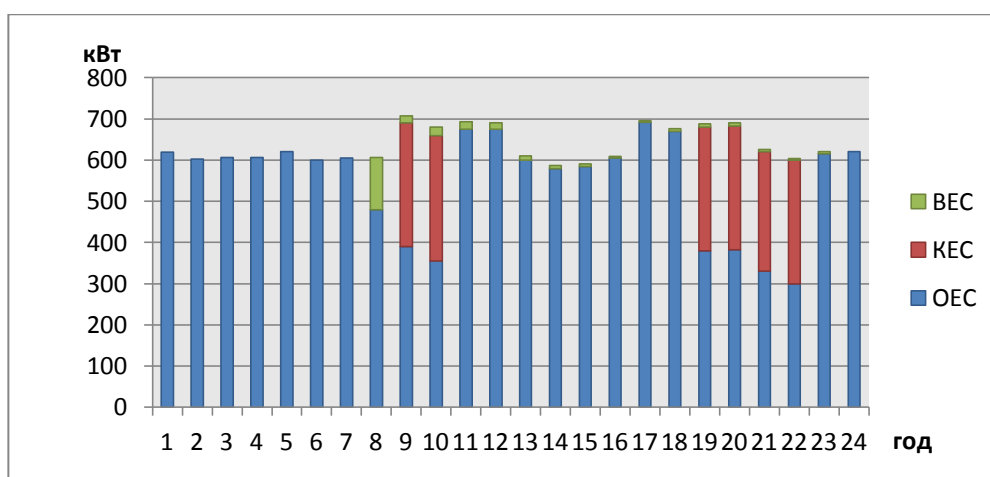


Рисунок 3.6 – Графік споживання електроенергії від різних джерел в осінній період (погодинна оптимізація)

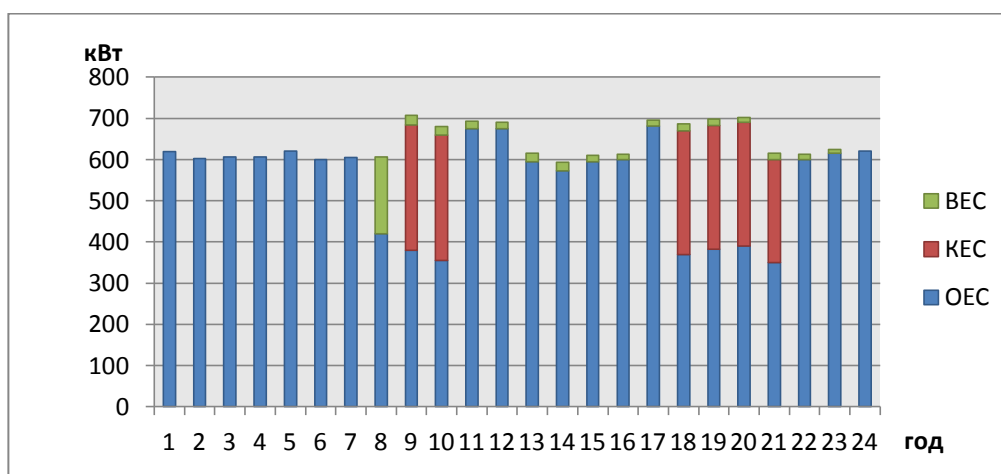


Рисунок 3.7 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у літній період (погодинна оптимізація)

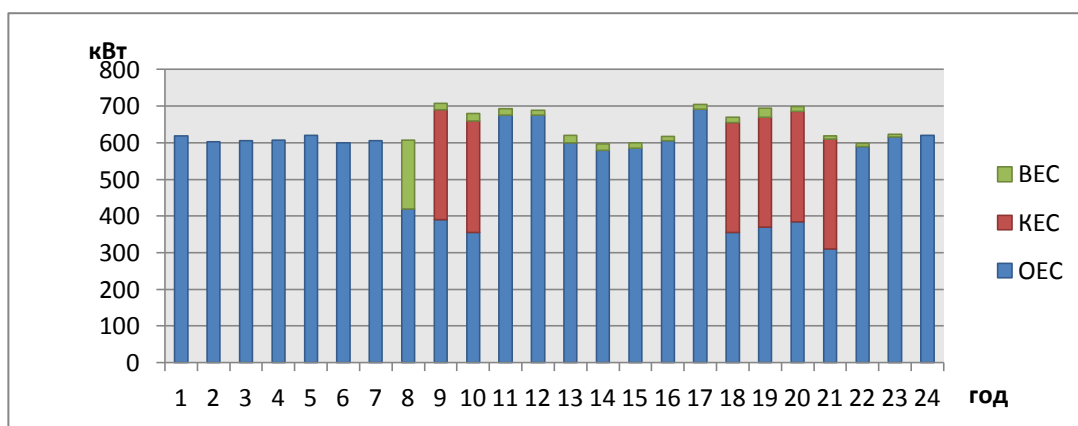


Рисунок 3.8 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у зимній період (погодинна оптимізація)

Для моделювання даних графіків, та графіків що наведені нижче використані такі данні та значення:

- усереднена швидкість вітру за зимній, літній, осінній та весняний періоди для Запорізької області, за 2017 рік [17],
- усереднена інтенсивність сонячного випромінювання за зимній, літній, осінній та весняний періоди для Запорізької області, за 2017 рік,
- номінальні потужності станцій (KEC – 300 кВт; BEC – 100 кВт; СЕС – 30 кВт);
- вартість електричної енергії виробленої на різних видах електростанцій (KEC – 4,00 грн; BEC – 3,2 грн; СЕС – 5,3 грн.)
- перетворюючі характеристики установок ВЕУ WindElectric та СЕУ Kvazar-Micro;
- діючий тариф на електричну енергію та тарифні коефіцієнти станом на березень 2011 року [18];
- критерій оптимізації, по екологічності установки (KEУ – 1; BEУ – 0,5; СЕУ – 0,5);
- максимальний заряд акумуляторних батарей (для СЕУ – 120 кВт·год, для ВЕУ – 300 кВт·год).

Моделювання оптимізації денних графіків вироблення електричної енергії комплексною електроенергетичною системою, за допомогою математичної моделі яка не враховує додаткові критерії оптимізації:

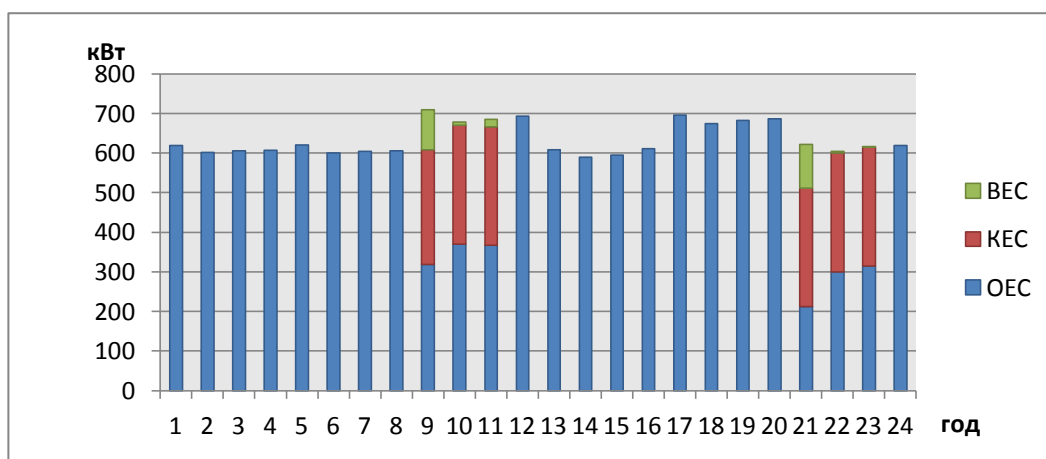


Рисунок 3.9 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у літній період (добова оптимізація)

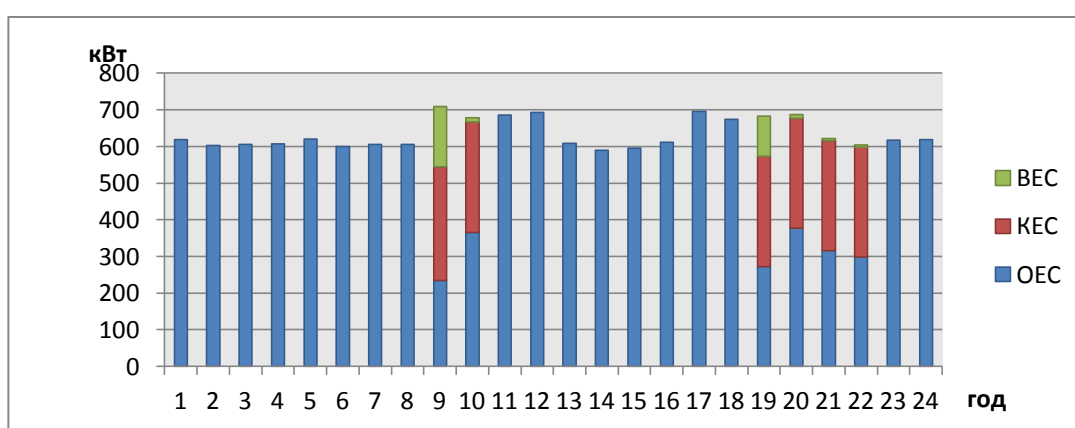


Рисунок 3.10 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у осінній період (добова оптимізація)

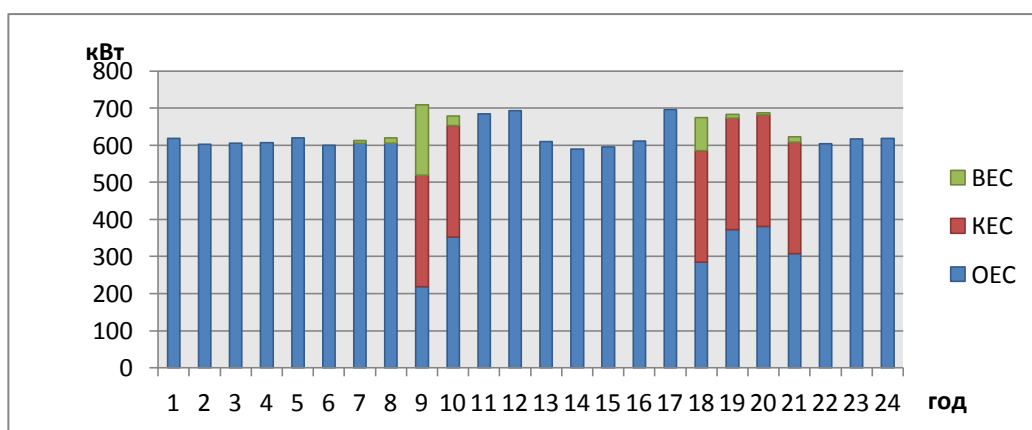


Рисунок 3.11 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у зимній період (добова оптимізація)

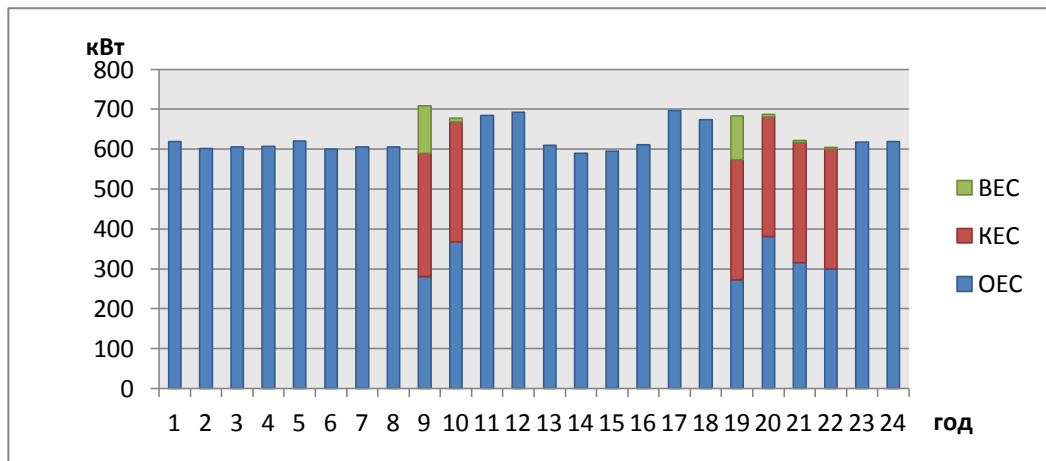


Рисунок 3.12 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у весняний період (добова оптимізація)

Моделювання погодинної оптимізації графіків вироблення електричної енергії комплексною електроенергетичною системою за допомогою математичної моделі яка враховує додаткові критерії оптимізації, а саме екологічність установок:

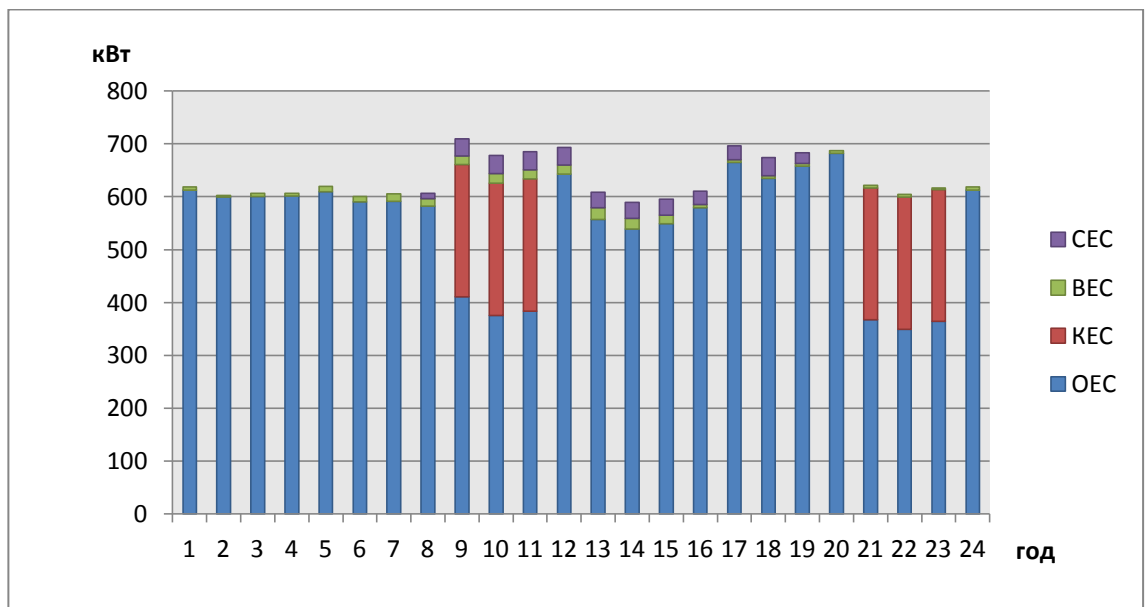


Рисунок 3.13 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у літній період (погодинна оптимізація)

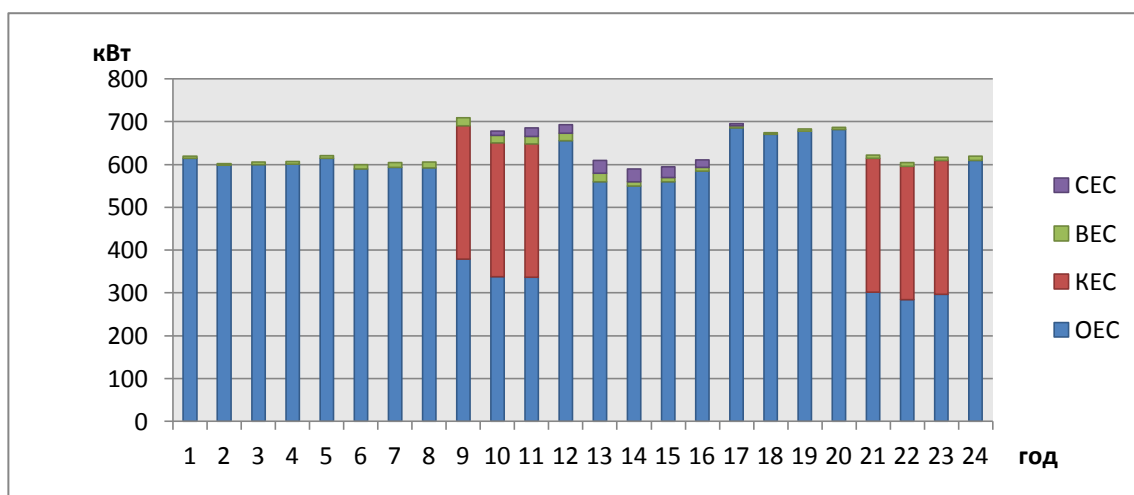


Рисунок 3.14 – Графік споживання електроенергії від різних джерел в осінній період (погодинна оптимізація)

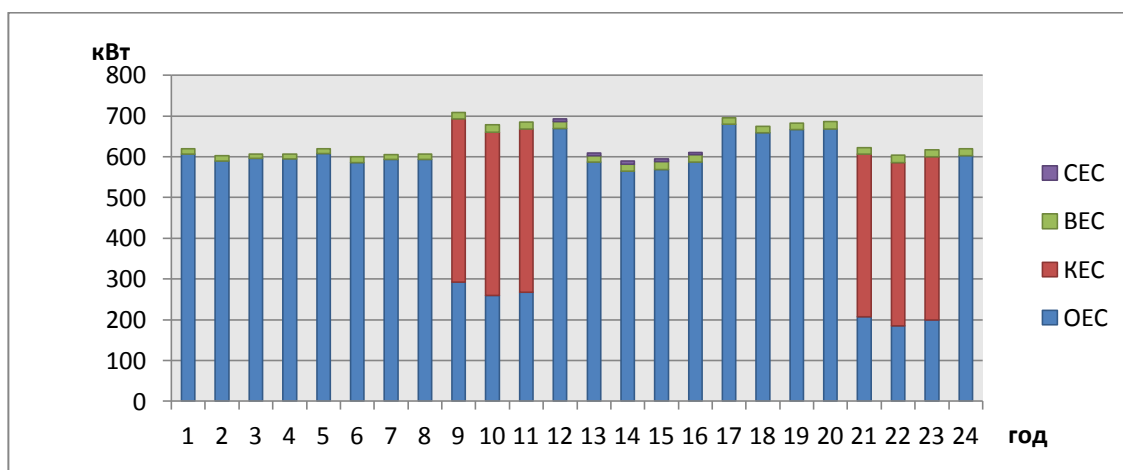


Рисунок 3.15 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у зимній період (погодинна оптимізація)

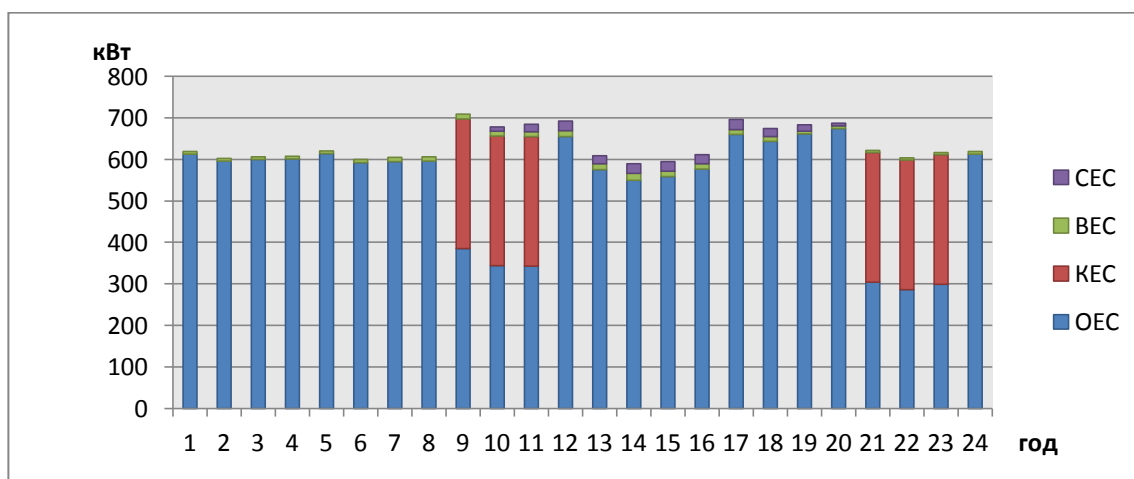


Рисунок 3.16 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у весняний період (погодинна оптимізація)

Моделювання оптимізації денних графіків вироблення електричної енергії комплексною електроенергетичною системою за допомогою математичної моделі яка враховує додаткові критерії оптимізації, а саме екологічність установок:

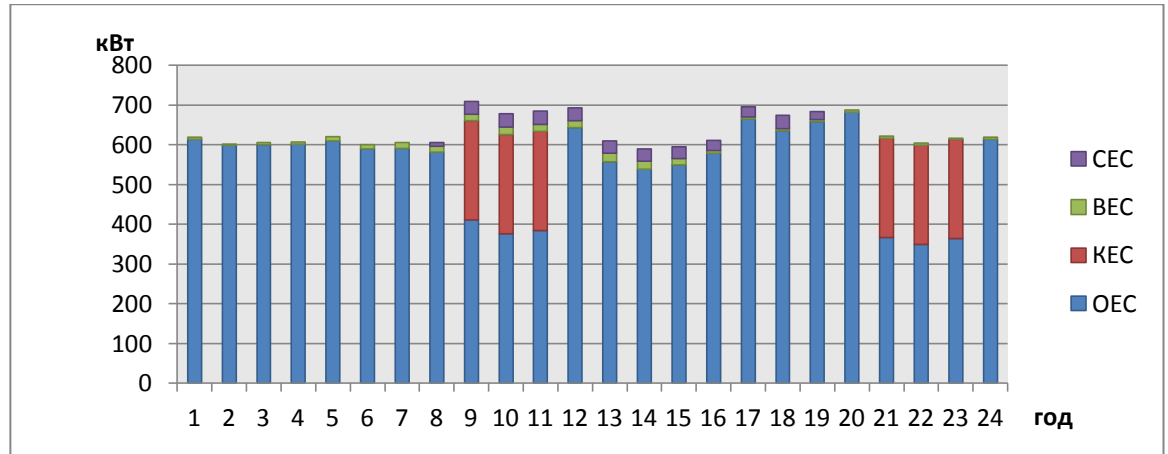


Рисунок 3.17 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у літній період (добова оптимізація)

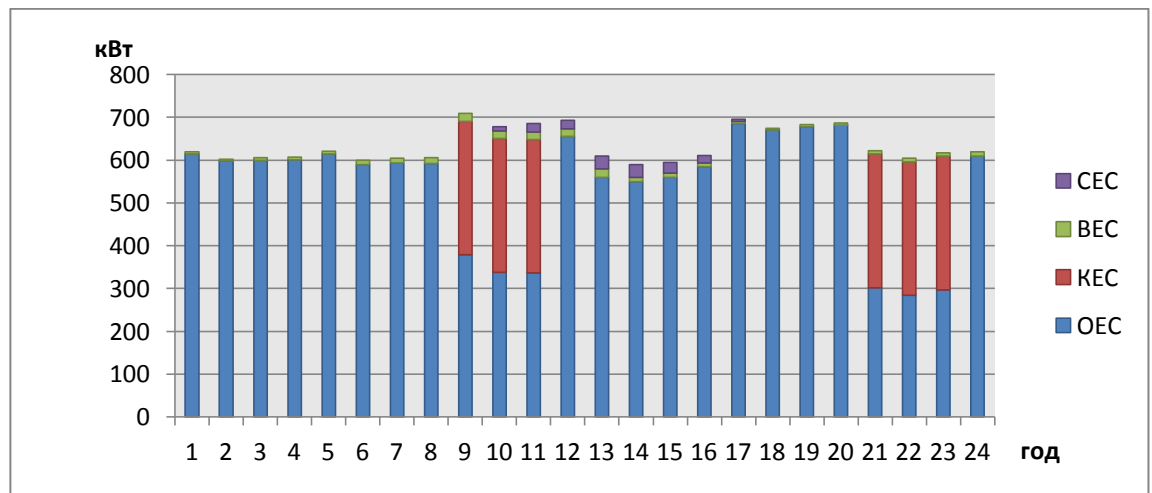


Рисунок 3.18 – Графік споживання електроенергії від різних джерел в осінній період (добова оптимізація)

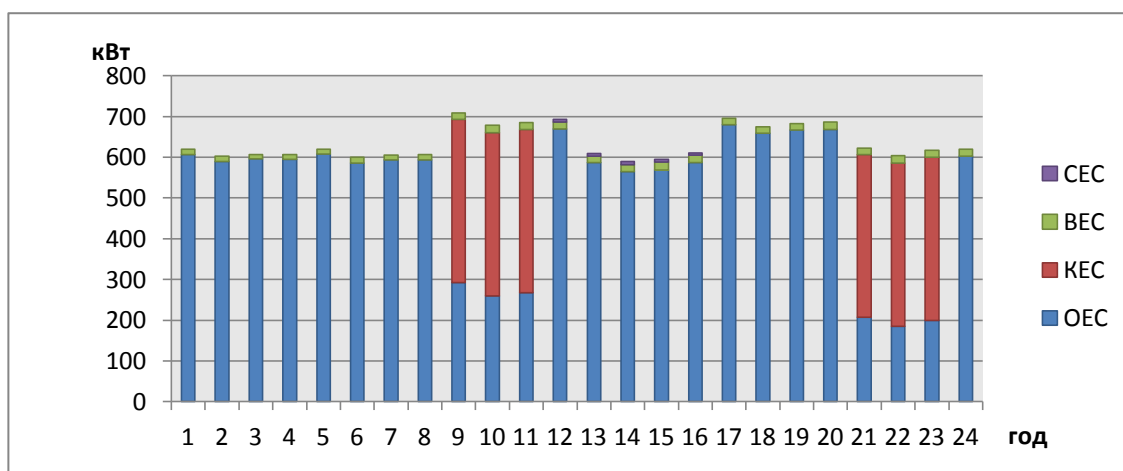


Рисунок 3.19 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у зимній період (добова оптимізація)

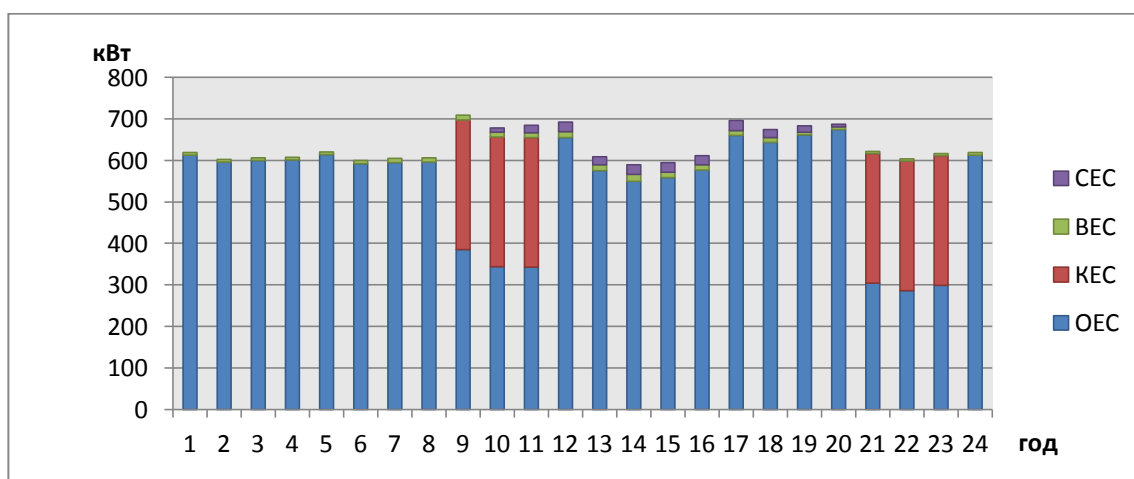


Рисунок 3.20 – Графік споживання електроенергії від різних джерел у весняний період (добова оптимізація)

З вище приведених графіків вироблення електричної енергії видно, що найоптимальнішим є використання електроенергії від КЕУ, БЕУ та СЕУ в години максимуму споживання енергетичної системи України, коли ціна на електричну енергію від ОЕС найбільша.

Дане моделювання проведено за допомогою довільних величин номінальних генераторних потужностей елементів КЕЕС. Дану модель можна використовувати для будь-яких графіків споживання, та КЕЕС з різноманітними параметрами елементів.

Проаналізуємо співвідношення часток вироблення електричної енергії різними елементами КЕЕС для різних сезонів. Результати представимо у вигляді кругових діаграм на рисунку 3.21.

З кругових діаграм видно, що для кожного сезону маємо власні значення долі генерації для окремого елемента КЕЕС. Для роботи СЕУ найкращим є літній період, а для ВЕУ – зимній, і їх сумарна частка не перевищує 4% від всієї потужності що споживається заводом, в той час як частка КЕУ складає майже 12% для всіх сезонів, що обумовлено сталістю кількості годин максимуму електроспоживання об'єднаної енергосистеми для всіх періодів.

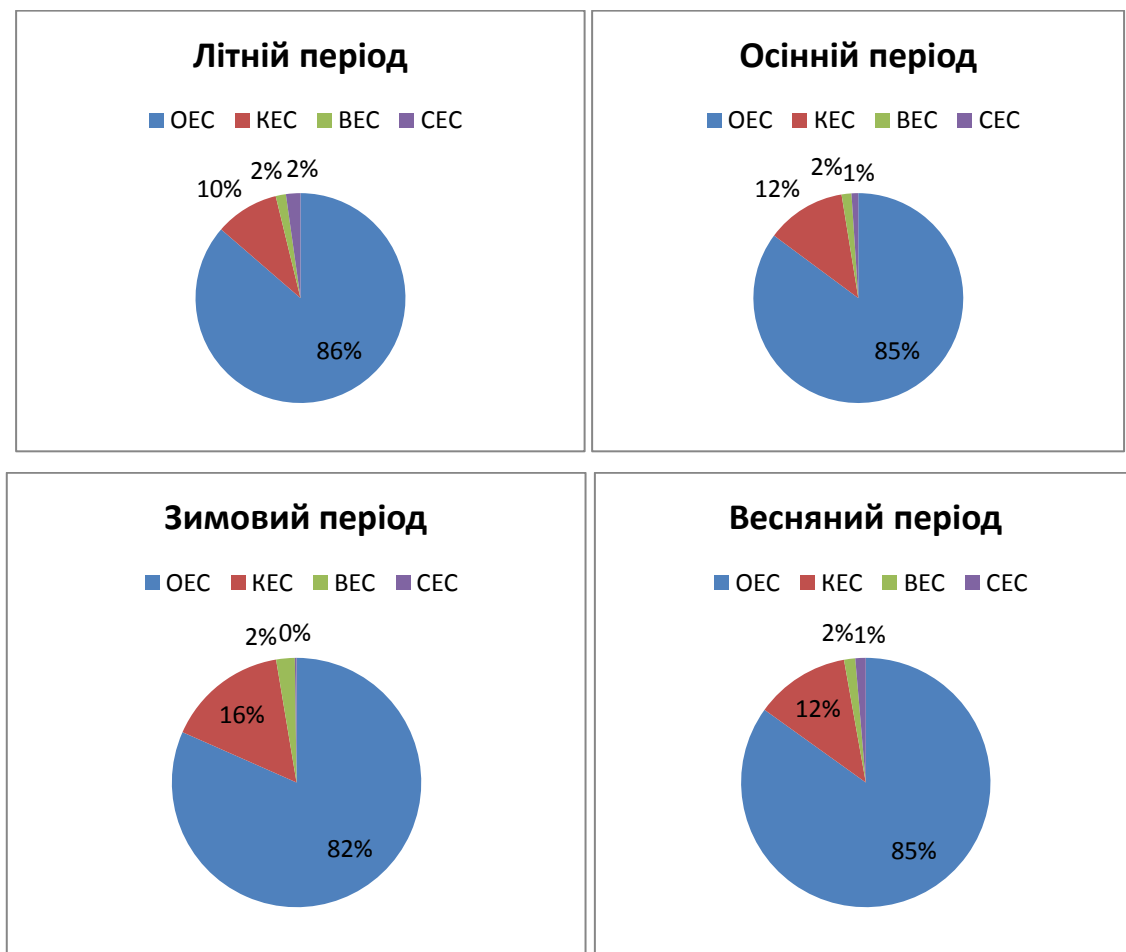


Рисунок 3.21 – Діаграми відсоткових співвідношень виробленої електроенергії від різних елементів КЕЕС

Виходячи з технологічних процесів описаних у другому розділі ми виявили, що майже всі технологічні процеси не підлягають зсуву у часі, так як вони безперервні або безперервно циклічні та їх корекція неможлива. Однак також присутні і процеси котрі не пов'язані з основним технологічним безперервним процесом, а саме:

- періодичний процес дроблення склобою;
- піч вакуумного ламінування;
- періодичне автоматичне розміщення скла на складі.

Отже, для оптимізації затрат використаємо таку цільову функцію:

$$F = \sum_{i=1}^{24} k_i \cdot \sum_{j=1}^n a_{ij} \rightarrow \min, \quad (3.37)$$

де k_i – коефіцієнт, що характеризує підвищення або зниження ціни за електричну енергію від ОЕС по трьохзонному тарифу в залежності від зони доби;

a_{ij} – коефіцієнт, що характеризує наявність чи відсутність споживання j -того технологічного процесу в i -тий період часу, $a_{ij}=0$ або $a_{ij}=1$.

Коефіцієнт k_i набуває значень:

$$k_i = \begin{cases} 0,35, & \text{якщо } i \in T_n \\ 1,02, & \text{якщо } i \in T_{nn} \\ 1,68, & \text{якщо } i \in T_n \end{cases}, \quad (3.38)$$

де T_n , T_{nn} , T_n – відповідно нічна, пів пікова та пікова зони доби електроспоживання енергетичною системою.

При даній оптимізації можливе існування цілої низки обмежень, наприклад, такі як [19]:

- збереження послідовності в часі деяких технологічних процесів (наприклад, технологічний процес з номером i не може бути включений в роботу раніше, ніж технологічний процес з номером $i+1$);
- кількість годин обов'язкового відпрацювання;

- неможливість виконання всього технологічного процесу за один період (необхідні перерви між роботою);
- необхідність роботи обладнання з заданою частотою;
- обмеження по кількості одночасно працюючих технологічних процесів;
- інше.

В якості керованих змінних в процесі оптимізації можуть застосовуватись:

- час вступу в роботу *i-того* технологічного процесу, визначеного на добовому інтервалі часу;
- інтенсивність споживання активної потужності деякими технологічними процесами, якщо характер технології дозволяє використовувати цей важіль;
- кількість технологічних процесів, що працюють одночасно;
- інше.

В нашому випадку обмеженнями будуть виступати:

- кількість обов'язкових годин відпрацювання:

$$\sum_{i=1}^{24} a_{ij} = t_j, \quad (3.39)$$

де t_j - кількість обов'язкових годин відпрацювання *j-того* технологічного процесу.

- максимальна кількість годин x відпрацювання технологічного процесу на часовому інтервалі z (кількість годин):

$$a_{ij} + a_{(i+1)j} + \dots + a_{(i+z)j} \leq x, \text{ для } i = \overline{1; 24}, \quad (3.40)$$

для функціонування даного обмеження додатково продовжується масив даних на z значень:

$$a_{i+24} = a_i, \text{ де } i = \overline{1; z}, \quad (3.41)$$

- максимально допустима кількість працюючих технологічних процесів в *i-тий* період часу:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} \leq b_i, \quad (3.42)$$

де b_i – максимально допустима кількість працюючих технологічних процесів в i -тий період часу;

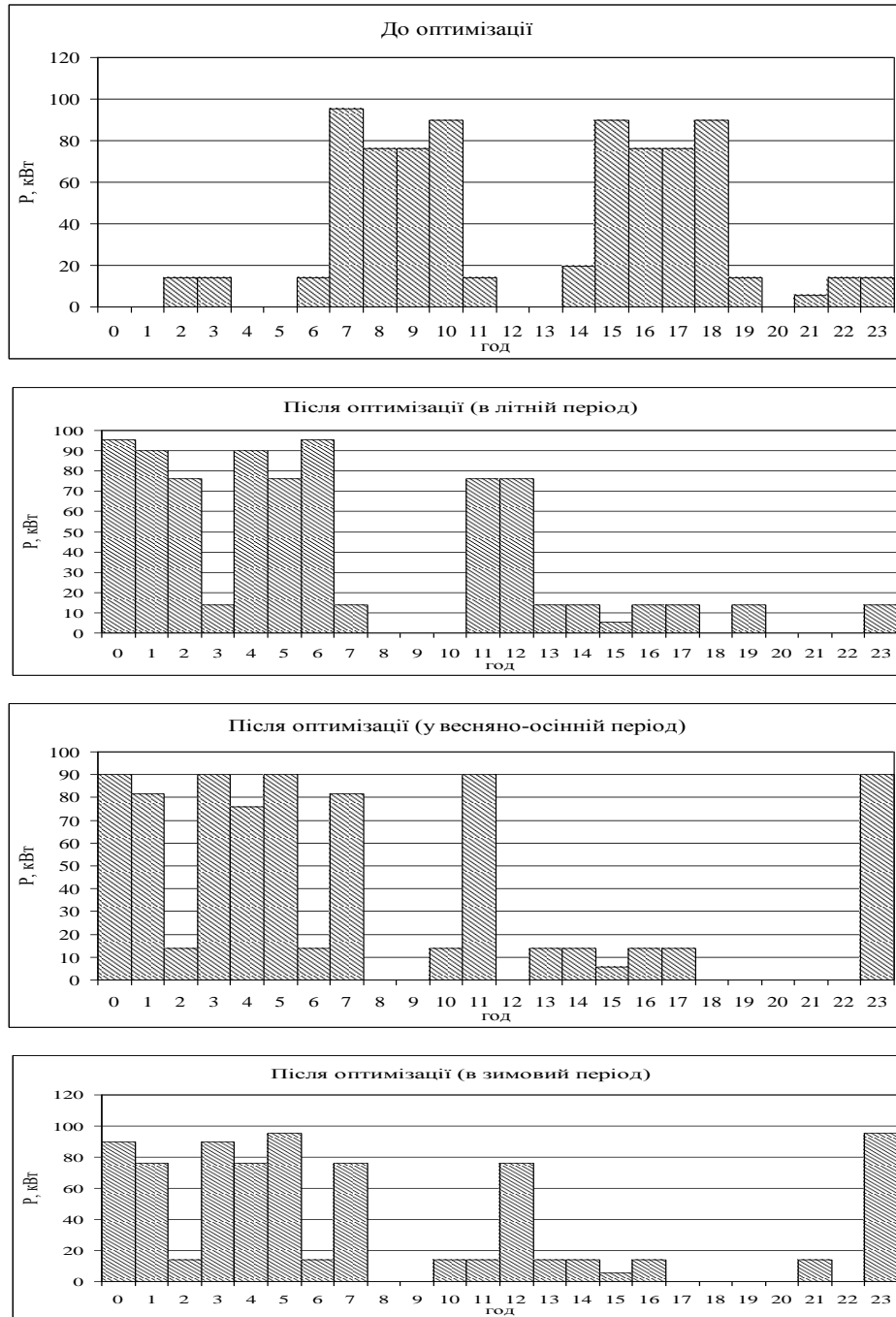


Рисунок 3.22 – Графіки споживання електричної енергії додатковими процесами до та після їх зсуву у часі

m – кількість технологічних процесів котрі беруть участь в оптимізації затрат на електричну енергію методом зсуву.

Цю нескладну модель оптимізації можна вирішити застосовуючи сучасні програми на персональному комп'ютері.

Також модель можна ускладнити додавши вагові коефіцієнти для кожного технологічного процесу, що надаватиме йому перевагу або збільшивши кількість і якість обмежень, але для вирішення нашої задачі цієї моделі цілком достатньо.

Результати вирішення задачі оптимізації методом зсуву технологічних процесів для трьох видів розділення доби на зони покажемо на рисунку 3.22.

Сумарне навантаження після проведення зсуву технологічних процесів, представлене в додатку Б.

Висновки

1. Вартість електричної енергії виробленої КЕУ залежить від об'єму виробленої електроенергії за час експлуатації станції, адже у вартість 1 кВт·год, входить питома вартість установки. Вартість електричної енергії від ВЕУ та СЕУ значно залежить від вітрового та сонячного потенціалу місцевості де встановлені дані установки, адже від цих факторів залежить об'єм генерації за час експлуатації. Ціна на електричну енергію вироблену ВЕУ та КЕУ цілком конкурентоспроможна в порівнянні з вартістю, що пропонується об'єднаною енергосистемою України;

2. За допомогою математичної моделі розробленої в даному розділі та проведеного моделювання графіків генерації електроенергії можна зробити висновок, що використання ВЕУ та КЕУ є економічно виправданим заходом. Якщо при побудові КЕЕС враховувати екологічні характеристики установок, то у графіку генерації електроенергії комплексною електроенергетичною системою з'явиться місце і для сонячної електроустановки;

3. Для підприємств даного типу доцільним буде провести оптимізацію затрат на електроспоживання від ОЕС шляхом зсуву у часі деяких технологічних процесів.

4 СТАРТАП ПРОЕКТ «Автоматизована система оптимізації планування споживання та генерації електроенергії активним споживачем»

У даному розділі проведено аналіз стартап проекту для визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямків реалізації цього впровадження. Розділ оформлений у відповідності з [34].

4.1 Опис ідеї проекту

В таблиці 4.1 представлено цілісне уявлення про зміст та можливості проекту, а також про можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати потенційних клієнтів

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Побудова програмного продукту, що дозволить проводити оперативний контроль планування споживання та генерації електроенергії активного споживача	1. Комерційний – надання послуг промисловим підприємствам	1. Підвищення рівня енергетичної ефективності 2. Збільшення конкурентоспроможності на ринку
	2. Навчальний – використання продукту студентами енергетичних спеціальностей	1. Набуття студентами навичок проведення оптимізації 2. Підвищення кваліфікації молодих кадрів у сфері енергоефективності
	3. Співтовариствський – представлення програмного продукту	1. Підвищення кваліфікації представників енергетичної галузі 2. Вигідні економічні

	підприємствам енергетичних спеціальностей в якості співпраці	заручення підприємствами між
--	--	------------------------------

В таблиці 4.2 описаний аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї(чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів.

Таблиця 4.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проєкт	Системи цільового моніторингу	Системи питомих норм енергоспоживання	Автоматизовані системи прогнозування цільових функцій			
Надійність системи	1	2	3	4		1,2,4	3
Глобальність	1	2	3	4	3	2,4	1
Комплексність	1	2	3	4	2,3	4	1
Оперативність	1	2	3	4	3	1,2	4
Достовірність	1	2	3	4	3	1,2	4

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного етапу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Визначення технологічної здійсненності проекту представлено у таблиці 4.3.

Проект можливо реалізувати, усі необхідні технологічні ресурси знаходяться у вільному доступі, у тому числі методичні рекомендації з проведення оперативного контролю ефективності використання

енергоресурсів, на основі яких буде створена математична основа продукту і які детально описані в п.2.

Таблиця 4.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
База для потенційних даних	PostgreSQL, Excel, PowerBI	Наявні	Потрібно розробити
Математична складова	Python, Pandas, SciPy, NumPy	Наявні	Потрібно розробити
Графічна складова	Python, Blender, PyQt4, Matplotlib	Наявні	Доступні

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В даному розділі визначено ринкові можливості, що можуть бути використані під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Сплануємо напрями розвитку проекту з урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів конкурентів.

Аналіз динаміки та розвитку попиту на проект проведено та представлено результат у таблиці 4.4

Ринок має середню ступінь привабливості для входження. Середня норма рентабельності досить велика, а відсутність подібних систем робить проект досить ризикованим з точки зору впровадження на ринок. У таблиці 4.5 визначені основні групи клієнтів стартапу та їх характеристика.

Аналіз ринкового середовища з точки зору загроз та можливостей представлено у таблицях 4.6 – 4.7.

З огляду на конкурентну ситуацію проект може існувати на ринку інформаційних та енергетичних послуг за умови надійності та

регулярного інформаційного забезпечення товару, а також за умови постійного покращення та аналізу попиту на власні послуги та послуги товарів замінників(аналогів).

Таблиця 4.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку	Характеристика
1. Кількість головних гравців, од	15
2. Загальний обсяг продаж, грн./ум. од	1500
3. Динаміка ринку	стагнує
4. Наявність обмежень для входу	Обмежений. Дана система ще не використовується в Україні на необхідному рівні
5. Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Стандарт ISO - 50001
6. Середня норма рентабельності в галузі, %	10

Таблиця 4.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Підвищення енергетичної ефективності	Будь яка група споживачів	Не передбачено	Надійність, ефективність, доступність

Загальні риси конкуренції на ринку представлені у таблиці 4.8

Більш детальний аналіз умов конкуренції представлений у таблиці

Таблиця 4.6 Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Ціна на послуги	Інформаційні ресурси , а саме їх розробка коштує значних коштів	Система Free to Play, яка частіше використовується на ринку відеоігр, але рідше і у сфері програмного забезпечення
Оновлення програми	Для того, щоб проект функціонував, необхідно постійно підтримувати експлуатацію програми та серверу	Створити відповідального за технічний стан програми. Анонсувати оновлення
Недостатня мотивація споживача	Системи оперативного контролю на українському ринку є інновацією і для клієнта досить ризиково використовувати дану послугу	Реклама, комунікативні методи зв'язку з потенційними клієнтами

Таблиця 4.7 Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Новизна	Досить свіжий погляд у сфері енергоринку України	Рекламувати продукт як інноваційний
Комплексність	Розрахунок ведеться аргументований та різносторонній. Інші подібні системи не мають на стільки комплексної системи висновків та пропозицій	Постійний контроль за справністю математичної складової продукту
Простота експлуатації	Система підказок та навчального режиму дозволить кожному	Удосконалення даної складової

	оволодіти програмою	цією	
--	------------------------	------	--

Таблиця 4.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства(можливі дії компанії, щоб бути конкурентноспроможною
1. Тип конкуренції - чиста	Програми моніторингу та контролю вже давно існують, як і статистичні методики	Маркетинговий відділ сприятиме інформаційному уклону саме в комплексність програми
2. Локальний рівень конкурентної боротьби	За межами України вже існують «Автоматизована система оптимізації планування споживання»	Розвиватись та шукати шляхи вирішення даної проблеми
3. Потенційно міжгалузева	Дана ситсема може використовуватись і для контролю якості продукції	На певному етапі підприємство буде намагатись вийти за межі влсної галузі
4. Нецінова конкуренція	Даний продукт не матиме фіксованої ціни	На ціну впливатимуть безліч факторів
5. Марочна	На певних енергетичних підприємствах уже працюють певні системи аналізу та контролю	Ситуацію зможе вирішити лише жорстка конкуренція та безкомпромісні дії зі сторони підприємства

Аналіз сильних та слабких сторон проекту представлено у таблиці 4.11. Аналіз здійснено на основі аналізу таблиці 4.10.

Таблиця 4.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Інші програми для	Інші	Корисність	Рецензі	Кращі

	проведення моніторингу енергоефективності	програми для виконання цільових змінних	Удобність Просто використання Новизна	ї	системи контролю якості продукції
--	---	---	---------------------------------------	---	-----------------------------------

Продовження таблиці 4.9

Висновки	Через специфіку організації ринку даного товару/послуги конкурентна боротьба моє специфічних характер і не може бути класифікована	Є можливості входу на ринок. Потенційні конкуренти – розробники інших статистичних програм	Постачальники диктують умови, але в певній мірі	Клієнти диктують умови, але в певній мірі	Обмеженнями для роботи на ринку є відсутність необхідної кваліфікації у постачальників товарів заміників
----------	--	--	---	---	--

Таблиця 4.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
Новизна	Конкурентна середа не має аналогів продукції, що випускає компанія
Аргументованість результатів	Програма надає клієнту аргументовані висновки та рекомендації
Простота використання	Кожний клієнт має можливість використання даного продукту без використання спеціальних додаткових ресурсів

Таблиця 4.11 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Автоматизована система оптимізації планування споживання та генерації електроенергії активним споживачем»

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом						
		-3	-2	-1	0	1	2	
Гнучкість використання	5						V	
Термін розробки	3		V					
Оновлення	4			V				

Корисність на ринку	6					V		
Експлуатація	5		V					
Ціна	3			V				
Новизна	3						V	

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза). Результат проведення SWOT аналізу представлено у таблиці 4.12

Таблиця 4.12 SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
Високий попит на підвищення енергоефективності Новизна проекту – відсутність аналогів Простота використання проекту Підтримання сучасній Європейських «трендів»	Необхідність великої бази даних, що значно зменшую потенційну надійність програмного продукту Новизна проекту – багато ризиків Висока вартість послуг представників галузі інформаційних технологій Низький рівень кваліфікованих фахівців в даній сфері господарства
Можливості	Загрози
Позитивна тенденція росту популярності концепції контролю та планування в Україні та Європі Розвиток законодавчого регулювання проблеми енергоефективності в країні	Зростання конкуренції Політична ситуація в країні Висока вартість регулярного забезпечення та оновлення продукту

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див.

таблицю 4.9, аналіз потенційних конкурентів). Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів представлені у таблиці 4.12.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Опис цільових груп споживачів представлено у таблиці 4.14.

Таблиця 4.13 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Використання Демо-версії програми	Досить низька через велику кількість систем для взлому демо-програм	3 роки
Free to Play	Вище середнього. Повністю залежить від якості продукції	2 роки
Спільна робота з іншими підприємствами	Середня. Залежить частинно від якості продукції, частинно від співробітництва з іншими підприємствами	2 роки

Таблиця 4.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Промислові підприємства	Залежить від рекламних	Залежить від поведінки	Середня	Низька

	заходів	компанії		
Підприємства енергетичної сфери	Помірна	Високий	Висока	Середня

Продовження таблиці 4.14

Вищі навчальні заклади	Помірна	Середній	Низька	Середня
------------------------	---------	----------	--------	---------

Базова стратегія розвитку стартап-проєкту визначена та представлена у таблиці 4.15

Таблиця 4.15 Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Free to Play	Концентрація основних зусиль не на продажу товару, а на захопленні визнання «продукту»	Інформаційні, комунікаційні система, взаємодія з підприємствами, які належать до енергетичної галузі	Концентрований маркетинг

На основі обраної базової стратегії розвитку проводиться вибір стратегії конкурентної поведінки проєкту. Результати представлені у таблиці 4.16.

Таблиця 4.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і як?	Стратегія конкурентної поведінки
Проект є першопрохідцем	Компанія буде шукати	Не буде, так як продукція	Стратегія заняття

на ринку	нових споживачів	компанії поки що не має аналогів	конкурентної ніші
----------	------------------	----------------------------------	-------------------

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розроблена стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торговельну марку/проект. Результати представлені у таблиці 4.17

Таблиця 4.17 Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту
Надійність товару Виправдовування очікувань Швидке реагування на реакцію цільової аудиторії	Збір відгуків про товар. Покращення та реклама товару до моменту рентабельності	Унікальність – як стратегії розвитку, так і самого продукту.	Інтелектуальний Простий Ефективний Майбутнє Покращення

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Визначення ключових потенційних переваг проекту представлено у таблиці 4.18

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
Висока плата за електроенергію	Постійний моніторинг рівня енергоефективності	Допомога в прийнятті рішень
Низька ступінь керування	Дозволяє виявити, які фактори найбільше	Управління електроспоживанням

попитом на електроспоживання	на електроспоживання	впливають на	
---------------------------------	-------------------------	--------------	--

Трирівнева маркетингова модель потенційного товару представлена у таблиці 4.19

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів. Результати даного заходу представлено у таблиці 4.20

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1.Товар за задумом	Надання консалтингових послуг з виявлення прихованих можливостей активного споживача на ринку електричної енергії
2.Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Великий простір для потенційної бази даних
	2. Графічний інтерфейс з можливістю копіювання даних з MS Excel та подальшого використання
	3.Велика база даних статичних велечин всередині програми
	4. Частина даних збережена на сервері, до якого у програми буде доступ через інтернет
	Якість: нормативи проведення статистичних розрахунків, параметри тестування, відгуки
	Пакування – скачування з офіційного сайту
	Марка: XenderSystems + Автоматизована система оптимізації планування споживання та генерації електроенергії активним споживачем
Товар із підкріпленням	До продажу – оформлення гарантійного листа, консультація

В таблиці 4.21 представлений аналіз визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів. Результат сформульовано у таблиці 4.22.

Таблиця 20. Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на послугу
1500-2000 грн.	3000-4000 грн.	Залежить від обраного підприємства	2000 грн.

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Отримання товару із рук довіреної енергетичної компанії, через яку клієнт виходить до виробника	Продавати товар, рекламувати виробника товару	Дво-трьорівневий	Залучена

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Недовіра до продавця, потреба в	Інтернет	Контроль, планування Простий Надійний	Виклик випробувати продукт. Завоювання	Контроль ефективності енерговикористання Навіщо

перевірці.		Точний	довіри	переплачувати гроші. Зараз, або ніколи!
------------	--	--------	--------	---

Висновки

Проведений маркетинговий аналіз стартап проекту «Автоматизована система оптимізації планування споживання та генерації електроенергії активним споживачем» дозволяє визначити принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації його впровадження. Був проведений технологічний аудит ідеї проекту, аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту, розроблена ринкова стратегія впровадження проекту та ринкова (маркетингова) програма проекту.

Даний проект має можливість бути комерціалізованим, але в пеній мірі з певними особливостями(демо версія продукту, партнерські угоди). Попит на проект наявний, динаміка ринку помірна, трохи нижче середнього рівень рентабельності роботи на ринку, у порівнянні з іншими можливими проектами.

Перспективи впровадження є і досить значні. В Україні існуюча система контролю і планування ефективності використання енергоресурсів має недоліки, які даний продукт міг би покрити. Бар'єром входження може бути недовіра споживача та низький початковий капітал. Стан конкуренції – помірний, конкурентоспроможність проету досить висока, особливо на перших етапах

Альтернативним варіантом впровадження можна вважати так названу систему Free to Play, або використання партнерських програм, та демо-версій продукту. Подібні заходи зменшать рівень сукупного доходу на перших етапах, але дозволять збільшити попит на послуги проету.

Подальша імплементація проекту доцільна тільки якщо проект буде у надійних кваліфікованих руках та якщо будуть виконуватись заплановані умови використання проекту, так як даний проект має

занадто слабку систему захисту від раптових ризиків. Короткий маркетинговий план проекту представлений у таблиці 4.23

Таблиця 4.23

	Об'єкт	Мета	Термін	Можливість	Кількість	Суб'єкти ринку
Ідея	Програний продукт для проведення оперативного контролю ефективності енерговикористання на виробничих підприємствах	Контроль та планування енерговикористання, підвищення попиту на продукцію.	Продукт розроблятиметься 3 місяці, 3 місяці буде термін випробувань та реклами, продукт буде готовий вийти на ринок у період 0,5 - 1 рік	Статистичні методи контрольних карт, регресії та послідовного аналізу дозволять споживачу контролювати об'єм споживання енергоресурсів. Більш детальна інформація описана в п.2	Об'єм продажу буде залежати цілком від попиту та реклами, тому перший період терміном від 3-х місяців до 1 року буде випробувальним.	Товар орієнтовано на начальників, або енергоменеджерів виробничих підприємств та інших фізичних осіб, зацікавлених у підвищенні енергоефективності виробничого підприємства
Ціна	До 500 гривень за одиницю продукції	Ціна буде залежати від багатьох умов, особливо від умов використання кінцевого продукту	Ціна буде актуальна до тих пір доки не з'явиться більш дешевих товарів-аналогів	З часом ціна буде коливатись залежно від версії продукту та наявності конкурентів.	Ціна буде встановлюватись в залежності від версії продукту. Також буде плата за додаткове ліцензування.	Ціна також буде залежати від групи покупців. Посередники та покупці, які зможуть запропонувати інший вид вигоди матимуть знижку, або отримають продукт по

						партнерські й програмі
--	--	--	--	--	--	---------------------------

Продовження таблиці 4.23

Місце продажу	Інтернет ресурси, офіційний сайт, посередники	Такі канали розповсюдження вибрані як найомтим альніші для подібних систем.	Покупці будуть обирати канал збуту після того, як товар отримає довіру	Канали розповсюдження будуть працювати лише після проведення реklamних заходів та створення офіційного сайта, проведення ліцензування продукту.	Кошти будуть витрачатись на адміністрацію сайту та анонсування і розробку нових версій продукту	Покупці зможуть отримати продукт або з офіційного сайту, або через офіційних представників
Реклама	Види реклами: «search engines optimization» - оптимізація через пошукові системи. Використання демо версій в якості проби продукту/	Така реклама дозволить користувачам швидше знаходити шлях до виробника, також опробувати продукт на рівень якості та доцільності	Часові рамки: 0,5 років - підготовка , 1 рік - реклама, 3 роки – срок життя проекту	Реклама буде здійснюватись через партнерські програми та використання пошукових систем	Рекламні заходи будуть коштувати 40 % від капітальних затрат	Фізичні особи зможуть отримати інформацію з допомогою статей та анонсів, розповсюджених на енергетичних форумах та журналах

ВИСНОВКИ

1. В першому розділі проведений аналіз існуючих на даний час систем електропостачання та джерел енергії дав змогу створити комплексну електроенергетичну систему для забезпечення електричною енергією заводу по виготовленню будівельного скла, котра складається з вітрової електроустановки, сонячної, когенераційної електростанції. Проаналізовані вартісні показники електричної енергії виробленої за допомогою власних генеруючих потужностей та їх залежності від навколишніх умов, зроблений висновок про конкурентоспроможність вартості електричної енергії виробленої власними генераторними потужностями.

2. В другому розділі визначені особливості графіків навантаження підприємств, що виготовляють будівельне скло після детального аналізу технологічного процесу та його складових. Виконане моделювання енергетичних ресурсів КЕЕС на основі вітрового та сонячного потенціалу Запорізької області, добових сезонних графіків вироблення електроенергії СЕУ та ВЕУ. Результати моделювання показали, що доцільність використання КЕУ існує лише у зоні піку споживання енергосистеми. Але в даній роботі розглядалася можливість використання природного газу як палива для КЕУ, в той час як при значному зростанні ціни на нього підприємство може перейти на більш дешевий газ і тоді економічним буде цілодобова робота когенераційної електростанції. Запропоновано математичну модель оптимізації затрат на споживання електроенергії від об'єднаної енергосистеми України за рахунок зсуву графіків технологічних процесів, які не критично прив'язані до основного технологічного процесу.

3. У третьому розділі створено структурно-логічну схему автоматизованої системи управління технологічним процесом вироблення та споживання електричної енергії від комплексної

електроенергетичної системи та розглянуто правила її створення і функціонування. Аналіз розрахунків оплати за спожиту електроенергію показує, що простий перехід з одноставочного на диференційований тариф для споживачів розглянутого типу економічно недоцільний. Економічна ефективність досягається тільки після впорядкування графіку споживання шляхом зсуву технологічних процесів

4. В четвертому розділі магістерського дослідження проведений маркетинговий аналіз стартап проекту «Автоматизована система оптимізації планування споживання та генерації електроенергії активним споживачем» задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації його впровадження. Був проведений технологічний аудит ідеї проекту, аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту, розроблена ринкова стратегія впровадження проекту та ринкова (маркетингова) програма проекту.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Frauendorfer K., Glavitsch H., Bacher R., Optimazation in Planning and Operation of Electric Power Systems, Lecture Notes of the SVOR/ASRO Tutorial Thun, Switzerland, 1992. 365 p.
2. <https://ua.energy/>
3. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. –М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
4. Smart Energy Management System for Optimal Microgrid Economic Operation / C. Chen, S. Duan, T. Cai, B. Liu, G. Hu // Renewable Power Generation, IET. – May, 2011. – Vol. 5, № 3. – P . 258–267.
5. И.О.Волкова., М.В. Губко, Е.А. Сальникова. Активный потребитель. Задача оптимизации потребления электроэнергии и собственной генерации // Управление сложными технологическими процессами и производствами - №6 • 2013 – С 53 – 61.
6. Гребенюк Г.Г., Соловьев М.М. Непрерывное тарифное регулирование для формирования желаемого графика нагрузки энергосистемы // Автоматика и телемеханика – 2004 - №5. – С. 166 – 173.
7. Бурков В.Н., Губко М.В., Новиков Д.А. Организационные механизмы управления в электроэнергетике // Управление развитием крупномасштабных систем – М., 2012 – С. 261 – 278
8. Amir-Hamed Mohsenian-Rad, Alberto Leon-Garcia. Optimal Residential Load Control With Price Prediction in Real-Time Electricity Pricing Environments // IEEE Trans. on Smart Grid. — 2010. — Vol. 1, N 1. — P. 120—133.
9. Гамм А . З ., Колосок Н.Н., Заика Р.А. Робастные методы оценивания состояния электроэнергетических систем и их реализация с помощью генетических алгоритмов // Электричество . – 2005. – № 10. – С . 2–8.
10. Варганова А.В. О методах оптимизации режимов работы электроэнергетических систем и сетей// Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering. 2017, vol. 17, no. 3, pp. 76–85
11. Кычкин А.В., Чудинов А.В., Оптимизация распределения мощности в полунатуральной модели локально-активно-адаптивной электроэнергетической сети// Электротехника, информационные технологии, системы управления № 11, С. 81 – 93
12. Полунатурное моделирование активно - адаптивной электрической сети / А . Б . Петроченков , Т . Франк , А . В . Ромодин , А . В . Кычкин //Электротехника . – 2013. – № 11. – С . 60–63.

13. А.В. Кычкин, А.В. Чудинов. Эвристический алгоритм оптимизации мощности в активно-адаптивной сети// 2015 Электротехника , информационные технологии , системы управления № 15 С. 97-107

14. В.П. Розен, І.Г. Ходаківський. Керування електричним навантаженням з використанням прогнозних моделей Хольта-Вінтерса// Енергетика: економіка, технології, екологія. 2016. № 2 . С. 17 – 24

15. Забелло Е.П., Сульжиц А.М. Вибір критеріїв оцінки ступеню рівномірності графіка електричних навантажень енергосистеми на добовому часовому інтервалі для розробки тарифних планів при електроспоживанні// Енергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ 2016 . С. 15 – 23

16. Степанов В.С., Суслов К.В., Козлова Е.В., Управление электропотреблением путем деформации графиков нагрузки потребителей // ВЕСТНИК ИрГТУ №9 (68) 2012 С.231 – 235

17. Зуева В.Н. Регрессионные методы прогнозирования графика загрузки электрооборудования. // Научный журнал КубГАУ, №126(02), 2017 года

18. Алферова Т.В., Бахмутская В.В., Гуз А.Ю., Разработка программы по рас чету условий оптимального горизонтального маневрирования электрической нагрузкой с целью снижения пиковой мощности в среде Delphi.// ВЕСТНИК ГГТУ ИМ. П. О. СУХОГО № 3 • • 2013 С.101-109

19. Манусов В.З., Седельников А.В. Применение нечеткой логики для согласования режимов работы ветроэнергетической установки с графиком электрической нагрузки// Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 5 С. 161-164

20. Зуева В.Н., Трухан Д.А., Карлов Д.Н. Нейросетевой модуль прогнозирования потребления электроэнергии // Научный журнал КубГАУ, №132(08), 2017

21. Махотило К.В., Вороненко Д.И. Модификация алгоритма Левенберга-Маркварда для повышения точности прогностических моделей связного потребления энергоресурсов в быту// С 83-91

22. Манусов В.З., Бирюков Е.В., Краткосрочное прогнозирование электрической загрузки на основе нейронной сети и ее сравнение с другими методами // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 6 С.153-158

23. Печеник Н.В., Самойлик О.В., Курбака Г.В. Ефективність вирівнювання тарифів електричного навантаження енергосистеми як складова управління режимом електровжитку промислового

підприємства// 2014 №1 0 (129) 2014 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ • ЭНЕРГЕТИКА • ЭНЕРГОАУДИТ

24. Праховник А. В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий / Праховник А. В., Розен В. П., Дегтярев В. В. – М. : Недра, 1985. – 232 с.

25. В.П. Калінчик, В.П.Розен, А.В.Скачок. Аналіз показників нерівномірності графіків навантаження промислових підприємств/ Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. - 2014. – Випуск 2/2014 (85). – С. 67 – 72.

26. Калінчик В.П., Шкребтій М.Т. Управління електричним навантаженням за допомогою споживачів-регуляторів// [XXVI Международная научно-практическая интернет-конференция](#) 2016

27. Прогнозирование показателей энергопотребления, генерации и стоимости полученной энергии/ Калинчик В.П., Кокорина М.Т.: НТУУ „КПИ” Н.-и. ин-т автоматики и энергетики «Энергия». – Киев, 2013. –14 с.: ил. – Библиогр.: 7 назв. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 22.07.13, № 35–Ук 2013.

28. А.Г. Фишов, И.Л. Клавсуц, М.В. Хайруллина, Д.А. Клавсуц, А.Б. Клавсуц. Технологические решения проблемы регулирования напряжения в распределенной энергетике Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика».2016. Т. 16, № 3. С. 41–48

29. Козлова Е.В. Модель и численные исследования системы электроснабжения с учетом активной роли потребителей // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Иркутск, 24–28 апреля 2012 г.). Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012.

30. В. П. Калінчик, В. П. Розен, О. В. Скачок. Аналіз показників нерівномірності графіків навантаження промислових підприємств // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 2/2014 (85)

31. 4. Праховник А.В. Управління енерговикористанням: проблеми, завдання та методи вирішення // Управління енерговикористанням: збір. доповідей /Під заг. ред, д.т.н., проф. А.В. Праховника. – К.: Альянс за збереження енергії, 2001. – С. 169–190.

32. Skachok, O.V., (2013), “Relevance of evaluation industrial enterprises uneven power consumption modern methods”, Energy: economy, technology, ecology, Special issue, pp. 35–40.

33. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / Под общей ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 648 с.

34. Баланс интересов. О проблеме дефицита высокоманевренных регулирующих мощностей в ОЭС Украины. А. Баталов, В. Салимон // Энергетическая политика Украины
35. Модель інтеграції децентралізованої генерації в енергетичну систему на найнижчому рівні ієрархії управління А.В.Праховник, В.А.Попов, О.В.Кулик.
36. Распределенная генерация: состояние и перспективы. Праховник А.В. Попов В.А, Ткаченко В.В.
37. Праховник А.В. Комплексне використання електричної енергії / Інститут енергозбереження і енергоменеджменту. Енергія майбутнього століття. №1, 1999, С. 9-14.
38. Будько В.І. Використання енергопотенціалу вітру та сонця в автономних енергосистемах на території України // Відновлювана енергетика -2010 – № 1 – с. 26-35.
39. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. – К: Науковадумка, 1999. – 320 с.
40. Швень Н.І., Петренко К.В. Оцінка вітрових ресурсів на території України, просторово-часовий аспект // Відновлювана енергетика -2007 – № 3 – с. 40-43.
41. Листовое полированное стекло [Текст] / К. Т. Бондарев. - М. : Стройиздат, 1978. - 167 с.
42. І.В. Кузьо, В.М. Корендій* Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра механіки та автоматизації машинобудування, *кафедра експлуатації та ремонту автомобільної техніки Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності
43. Энергоефективність та відновлювані джерела енергії [Текст] / С. М. Бевз [та ін.] ; під заг. ред. А. К. Шидловського ; Нац. акад. наук України, Підприємство "Укреноергозбереження". - К. : Українські енциклопедичні знання, 2007. - 560 с. - ISBN 978-8578-08-3
44. Вища математика для електротехніків [Текст] : навч. посіб. / С.О. Станішевський, А.В. Якунін, А.О. Володченко ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва : у 3-х модулях. - Х. : ХНАМГ. - ISBN 978-966-695-165-9.
45. В.О. Милосердов, Н.І. Яринчак Математичні модель вирівнювання групового графіка електричних навантажень// Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2010 - №5 – с. 53-57.
46. Васильев Артем Вячеславович. Исследование и разработка алгоритмов управления многостадийным процессом производства

листового стекла : Дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 Владимир, 2006
142 с.

47. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. — М.: Горячая линия-Телеком, 2009. — 608 с
48. Эффективные решения задач АСУ ТП с помощью промышленных компьютеров. Опыт применения в Украине [Текст] / И. Лапко // Энергетика та електрофікація – 2009. - №2. – С. 54-65.
49. Плешков Сергій Петрович. Автоматизація управління енергоспоживанням в сільськогосподарському виробництві в умовах невизначеності: дисертація канд. техн. наук: 05.13.07 / Кіровоградський держ. технічний ун-т. - Кіровоград, 2003.
50. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения. – Киев .: Освіта України, 2007. - 464с.

Додаток А

В п. 3.1 ми встановили оптимальний розподіл навантаження підприємства методом «транспортної задачі» використовуючи програмний інструмент Jupyter Notebook Python 3.6.1. Код програми представлений на рисунку А.1.

```
import sys
import warnings
warnings.filterwarnings('ignore')
from tqdm import tqdm

import pandas as pd
import numpy as np
from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error

import statsmodels.formula.api as smf
import statsmodels.tsa.api as smt
import statsmodels.api as sm
import scipy.stats as scs
from scipy.optimize import minimize

import matplotlib.pyplot as plt
from collections import Counter#бібліотеки

from cvxopt.modeling import variable, op
import time
start = time.time()
x = variable(9, 'x')
c = [7,3,6,4,8,2,1,5,9]
z=(c[0]*x[0] + c[1]*x[1] +c[2]* x[2] +c[3]*x[3] + c[4]*x[4] +c[5]* x[5]+c[6]*x[6] +c[7]*x[7] +c[8]* x[8])
mass1 = (x[0] + x[1] +x[2] <= 74)
mass2 = (x[3] + x[4] +x[5] <= 40)
mass3 = (x[6] + x[7] + x[8] <= 36)
mass4 = (x[0] + x[3] + x[6] == 20)
mass5 = (x[1] +x[4] + x[7] == 45)
mass6 = (x[2] + x[5] + x[8] == 30)
mass7 = (x[1] == 30)
x_non_negative = (x >= 0)
problem =op(z,[mass1,mass2,mass3,mass4 ,mass5,mass6, mass7,x_non_negative])
problem.solve(solver='glpk')
print("Результат Хопт:")
for i in x.value:
    print(i)
print("Стоимость доставки:")
print(problem.objective.value()[0])
stop = time.time()
print ("Время :")
print(stop - start)

from scipy.optimize import linprog
import time
start = time.time()
c = [7, 3,6,4,8,2,1,5,9]
b_ub = [74,40,36]
A_ub = [[1,1,1,0,0,0,0,0,0],
        [0,0,0,1,1,1,0,0,0],
        [0,0,0,0,0,0,1,1,1]]
b_eq = [20,45,30,30]
A_eq = [[1,0,0,1,0,0,1,0,0],
        [0,1,0,0,1,0,0,1,0],
        [0,0,1,0,0,1,0,0,1],
        [0,1,0,0,0,0,0,0,0]]
print(linprog(c, A_ub, b_ub, A_eq, b_eq))
stop = time.time()
print ("Время :")
print(stop - start)
```

Рисунок А.1 – Код розрахунку «транспортної задачі» на мові програмування Python

В п. 3.3 ми розрахували задачу змішаної багатокритеріальної оптимізації використовуючи програмний інструмент Jupyter Notebook Python 3.6.1. Код програми представлений на рисунку А.2.

```
class MultyOptimize:
    def __init__(self, series, slen, alpha, beta, gamma, n_preds, scaling_factor=1.96):
        self.series = series
        self.slen = slen
        self.alpha = alpha
        self.beta = beta
        self.gamma = gamma
        self.n_preds = n_preds
        self.scaling_factor = scaling_factor

    def initial_trend(self):
        sum = 0.0
        for i in range(self.slen):
            sum += float(self.series[i+self.slen] - self.series[i]) / self.slen
        return sum / self.slen

    def initial_seasonal_components(self):
        seasonals = {}
        season_averages = []
        n_seasons = int(len(self.series)/self.slen)

        for j in range(n_seasons):
            season_averages.append(sum(self.series[self.slen*j:self.slen*j+self.slen])/float(self.slen))

        for i in range(self.slen):
            sum_of_vals_over_avg = 0.0
            for j in range(n_seasons):
                sum_of_vals_over_avg += self.series[self.slen*j+i]-season_averages[j]
            seasonals[i] = sum_of_vals_over_avg/n_seasons
        return seasonals

    def triple_exponential_smoothing(self):
        self.result = []
        self.Smooth = []
        self.Season = []
        self.Trend = []
        self.PredictedDeviation = []
        self.UpperBond = []
        self.LowerBond = []

        seasonals = self.initial_seasonal_components()

        for i in range(len(self.series)+self.n_preds):
            if i == 0:
                smooth = self.series[0]
                trend = self.initial_trend()
                self.result.append(self.series[0])
                self.Smooth.append(smooth)
                self.Trend.append(trend)
                self.Season.append(seasonals[i%self.slen])
                self.PredictedDeviation.append(0)
                self.UpperBond.append(self.result[0] + self.scaling_factor * self.PredictedDeviation[0])
                self.LowerBond.append(self.result[0] - self.scaling_factor * self.PredictedDeviation[0])
            else:
                continue

            if i >= len(self.series):
                m = i - len(self.series) + 1
                self.result.append((smooth + m*trend) + seasonals[i%self.slen])
                self.PredictedDeviation.append(self.PredictedDeviation[-1]*1.01)
            else:
                val = self.series[i]
                last_smooth, smooth = smooth, self.alpha*(val-seasonals[i%self.slen]) + (1-self.alpha)*(smooth+trend)
                trend = self.beta * (smooth-last_smooth) + (1-self.beta)*trend
                seasonals[i%self.slen] = self.gamma*(val-smooth) + (1-self.gamma)*seasonals[i%self.slen]
                self.result.append(smooth+trend+seasonals[i%self.slen])

                self.PredictedDeviation.append(self.gamma * np.abs(self.series[i] - self.result[i])
                                                + (1-self.gamma)*self.PredictedDeviation[-1])

                self.UpperBond.append(self.result[-1] + self.scaling_factor * self.PredictedDeviation[-1])
                self.LowerBond.append(self.result[-1] - self.scaling_factor * self.PredictedDeviation[-1])

                self.Smooth.append(smooth)
                self.Trend.append(trend)
                self.Season.append(seasonals[i % self.slen])

from sklearn.model_selection import TimeSeriesSplit

def timeseriesCVscore(x):
    errors = []
    values = data.values
    alpha, beta, gamma = x

    tscv = TimeSeriesSplit(n_splits=3)

    for train, test in tscv.split(values):
        model = HoltWinters(series=values[train], slen = 7, alpha=alpha, beta=beta, gamma=gamma, n_preds=len(test))
        model.triple_exponential_smoothing()

        predictions = model.result[-len(test):]
        actual = values[test]
        error = mean_squared_error(predictions, actual)
        errors.append(error)

    return np.mean(np.array(errors))
```

Рисунок А.2 – Код для розрахунку багатокритеріальної оптимізаційної задачі на мові програмування Python